هندسة الموارد المائية

تأليف

مهندس إستشارى

محمد أحمد السيد خليل







هندسة الموارد المائية

هندسة الموارد المائية

مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل



الناشر

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

٢٠١٢

بطاقة فهرسة الكتاب:

خليل، محمد أحمد السيد.
هندسة الموارد المائية / محمد أحمد السيد خليل. – ط١ . – الجيزة: المكتبة الأكاديمية، ٢٠١٢.
٤٣٢ ص؛ ٢٤سم.
تدمك: ٤ – ٤٧٠ – ٢٨١ – ٩٧٧ – ٩٧٨
١- الهندسة الهيدروليكية
٢- مصادر المياه
أ- العنوان ٦٢٧

رقم الإيداع: ٣٧٦٣/ ٢٠١١

حقوق النشر

الطبعة الأولى ٢٠١٢م-١٤٣٣هـ

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية
راس المال المصدر والمدفوع ١٨,٢٨٥,٠٠٠ جنيه مصرى

١٢١ شارع التحرير - الدقى - الجيزة
القاهرة - جمهورية مصر العربية
تليفون : ٧٤٨٥٢٨٢ - ٣٣٦٨٢٨٨ (٢٠٢)
فاكس : ٧٤٩١٨٩٠ (٢٠٢)

مقدمة الكتاب ومحتواه:

تم إعداد هذا الكتاب لتناول موضوعات هندسة المـوارد المائيـة ذات الأهميـة للعاملين والدارسين والمهتمين بمجال الموارد المائية وتنميتها وحسن إدارتها.

تم تناول الموضوعات ذات الأهمية في ثـلاث عـشر فـصلاً حيـث تناولـت الموضوعات الدورة المائية وعمليات الترسيب والتحليل الهيدرولوجي لبيانات الترسيب واستخلاص المياه والتقسيمات الهيدرولوجية لسقوط الأمطار والرشح أو التسرب لمياه الأمطار وذلك في فصول الباب الأول من الفصل الأول إلى الفصل الخامس. أما الباب الثاني فقد تم فيه تناول موضوعات سعة الخزان وتشغيله ونقل المياه السطحية خـلال مآخذ النهر ومخارج النهر وقياسات الانسياب السطحي وتدفق المجـرى، واسـتخدام المياه في الري والطاقة وذلك في الفصول من السادس إلى التاسع. أما البـاب الثالـث والأخير فقد تناول موضوع السدود حيث في الفصل العاشر تـم اسـتعراض أنـواع السدود ومتطلبات إنشائها وفي الفصل الحادي عشر تم تناول السد الثقالي وفي الفـصل الثاني عشر سدود القنطرة أو العقد. أما الفصل الثالث عشر والأخيـر فقـد خـصص للسدود الترابية. وعسى أن يتحقق ما نرجوه من الإفادة بما ورد من معلومات في هذا الإصدار.. والله الموفق.

المؤلف

مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل

فهرست المحتويات

الموضوع **أرقام الصفحات**

الباب الأول

الفصل الأول

الدورة المائية وعمليات الترسيب

Hydrological cycle and Precipitation processes

١- مقدمة:

المعلومات عن الدورة المائية تعتبر أساسية في الأعمال المتعلقة باستخدام وإمداد المياه. دراسة الدورة المائية ليست ذات اهتمام أساسي في تصميم وتشغيل المشروعات الهندسية للموارد المائية ولكنها ذات فائدة كبيرة في مجال الزراعة والعلوم ذات العلاقة.

مجال علوم الدورة المائية عظيم الاتساع وبجانب أشياء أخرى فإنه ذو فائدة في الوصول إلى إجابات وحلول للأمور الآتية التي عادة نتعامل معها في تصميم وإنشاء وصيانة مشروعات الموارد المائية.

أ – ما هو مقدار التخزين المطلوب لضمان إمدادات المياه اللازمة للاستخدامات المنزلية والزراعة:

ب – حساب أقصى فيضان لتردد معين لتمريره فوق مفيض السد.

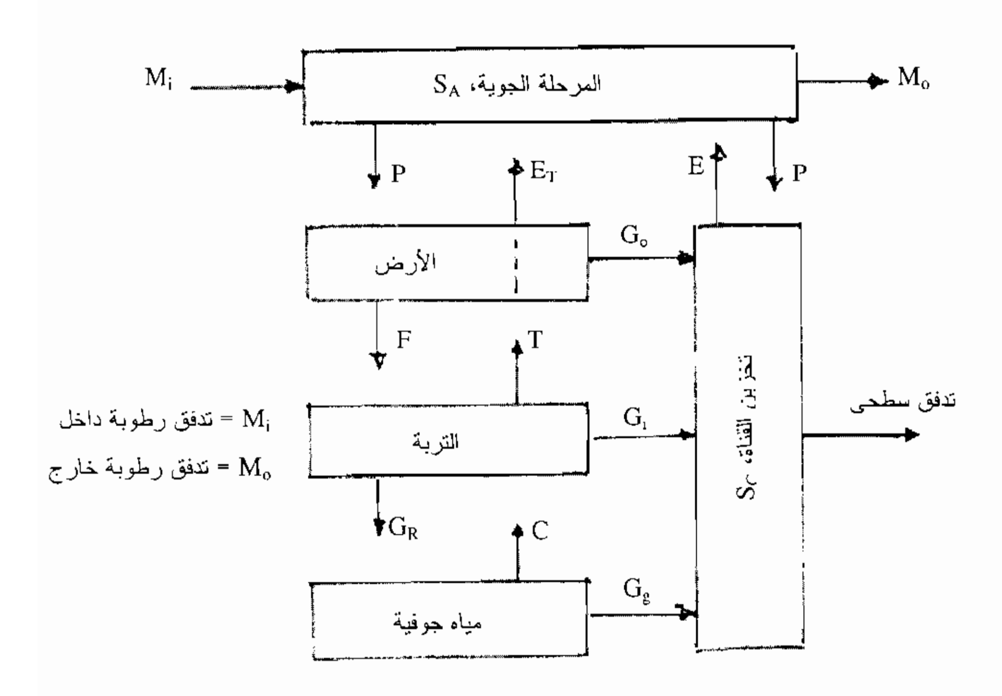
جـ- تعيين تأثير التغيرات في استخدام الأرض أو إزالة الغابات من المساحة حيث التدفق والانسياب السطحي للمياه أو على مستوى المياه الجوفية.

د – تعيين أدنى تدفق في المجرى.

هـ- تصميم السدود أو الحواجز لمنع الفيضان (Levees) والحواجز الترابية (Embankments) في مشروع الحماية من الفيضان.

٢ – الدورة المائية:

الدورة المائية ترتبط بحدوث وحركة المياه فوق وأسفل سطح التربة. يوجد انتقال مستمر من أحد أشكال الماء إلى الشكل الآخر أو التحرك من مكان للتخزين إلى الآخر، ولكن إجمالي كمية المياه فوق وتحت سطح الأرض تظل ثابتة. مثل هذا النظام يعتبر نظام مغلق (Closed system) ليس له بداية ونهاية، ولذلك يسمى الدورة المائية. الطاقة المستخدمة لأداء هذه الدورة يتم توفيرها بالإشعاع الشمسي. الوصف النوعي لهذه الدورة موضح في الشكل (١/١) .



شكل (١/١) الدورة المائية – توصيف نوعى

في هذا الشكل يبين المستطيل الأشكال المختلفة لتخزين المياه في أجزاء مختلفة من الدورة المائية. الأسهم تشير إلى انتقال الماء من أحد أشكال التخزين إلى الآخر.

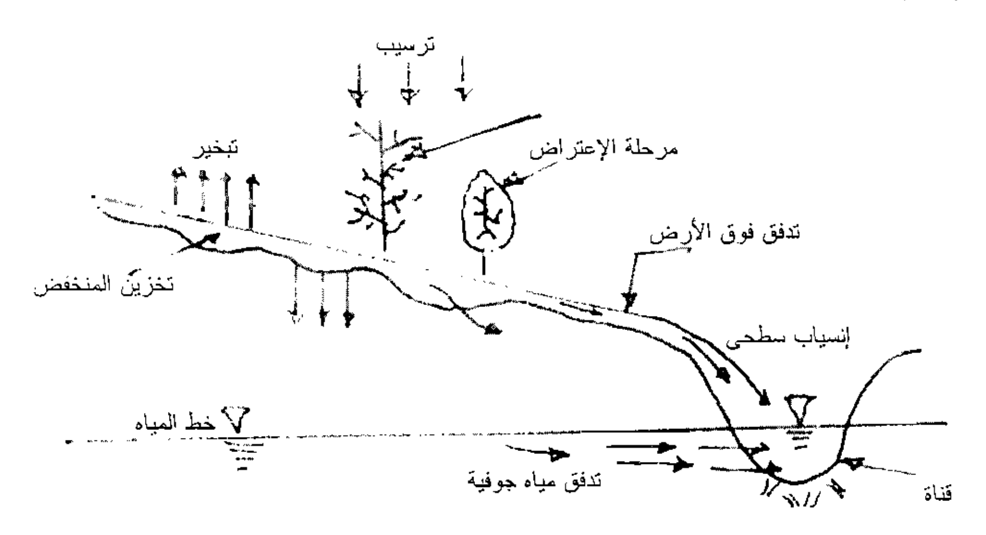
الرطوبة الجوية (S_A) تتحرك نحو سطح الأرض في شكل ترسيب (Precipitation) أو تساقط P (بأشكال مختلفة من المطر والثلج والبرد إلخ...). جزء من هذا يتم اعتراضه بالمباني، الأشجار، النباتات، ولذا لا يصل إلى الأرض. وكمية المياه التي تحتجز هذه تسمى الفقد بالاعتراض، (Interception losses). بعض من الماء الذي تم اعتراضه يتبخر ويعود ثانيًا إلى الجو. بعض من الماء الذي يصل إلى الأرض يتسرب في التربة (F) بعض البعض الآخر يعود ثانيًا إلى الجو بالتبخر (E) والنتح (T)، والبعض قد يجد طريقة نحو قناة التخزين (S)، في شكل التدفق فوق سطح الأرض (Q_o). أقصى معدل الذى يدخل به الماء التربة يسمى قدرة الرشح للتربة (In Filtration capacity) (F) للتربة. إذا كانت شدة سقوط المطر تزيد عن مجموع معدلات الرشح للتربة والبخر، فإن الماء يبدأ في التجمع في المنخفضات – مثل هذا التخزين يسمى تخزين المنخفض (Depression storage) (Sd). عند امتلاء طاقة المنخفض فإن الماء يبدأ في التحرك على سطح الأرض. سقوط الأمطار المتاحة للتحرك عبر السطح بعد كفاية حاجات البخر، الرشح والانخفاض تسمى المطر الزائد (Rain fall Excess) (Pe). هذا المطر الزائد هو المسئول عن الاستجابة المباشرة عن واقعة الترسيب/ التدفق المفاجئ (Storm).

أثناء الترسيب وأحيانا بعد ذلك، فإن رطوبة التربة في منطقة التربة غير المشبعة يتم تغذيتها بالرشح (F). نتيجة لذلك سيكون هناك إعادة شحن (GR) للمياه الجوفية (المياه أسفل خط المياه) وذلك في حالة كفاية النقص في رطوبة تربة الحقل. فورًا بعد توقف سقوط الأمطار فإن كل المياه تتصرف إلى أسفل نحو خط المياه بفعل الجاذبية. ولكن، كمية معينة من الماء تعرف بماء (Pellicular Water) تحتجز على سطح حبيبات التربة بفعل الانجذاب الجزئي (Molecular Attraction). اقصى عمل لذلك الماء، على فرض انتشاره فوق أحواض الصرف، حيث يمكن للتربة حجز غير محدد ضد قوة الجاذبية والذي يسمى قدرة الحقل (Field capacity) عمق الماء اللازم لوصول رطوبة التربة إلى قدرة الحقل تعرف بالنقص في رطوبة الحقل (Field Moisture deficiency).

قد يكون هناك كذلك تدفق بيني (Q_i) خلال التربة والذي في الحالات المناسبة قد يجد طريقه إلى شبكة القنوات. كذلك فإن مخزون المياه الجوفي قد ينقص إذا كان هناك تدفق للمياه الجوفية (Q_g) إلى شبكة القنوات والتي هي الحالة الغالبة في المناخ الجاف، في المناخ الجاف التدفق في القنوات يستمر بواسطة (Q_g). وهذا يسمى كذلك التدفق من القاع (Base Flow). كذلك فإن بعض من المياه من شبكة القنوات يتبخر ثانيًا إلى الجو. التدفق السطحي (Run off) من مستجمع الأمطار (Catchment) يشمل كلاً من التدفق فوق سطح الأرض (Q_o)، التدفقات البينية (Q_i) والمياه الجوفية (Q_g). إنه من غير الممكن جعل تلك المكونات في مكون واحد لإجمالي الانسياب السطحي (Run off). ولكن، من استجابة مستجمع الأمطار لحالة ترسيبات فإنه يمكن التعرف على مساهمة كل من العناصر السابق ذكرها. فمثلاً، فإنه سوف تكون استجابة سريعة عندما يكون الانسياب السطحي بسبب التدفق فوق سطح الأرض والتدفق البيني في طبقات التربة العليا، وسوف تكون هناك استجابة بطيئة للمستجمع عند تسرب المياه بعمق نحو الخزان الجوفي وفي النهاية يتقاطع بشبكة القنوات (Q_g).

٢- عملية الانسياب السطحي (Run Off Process)

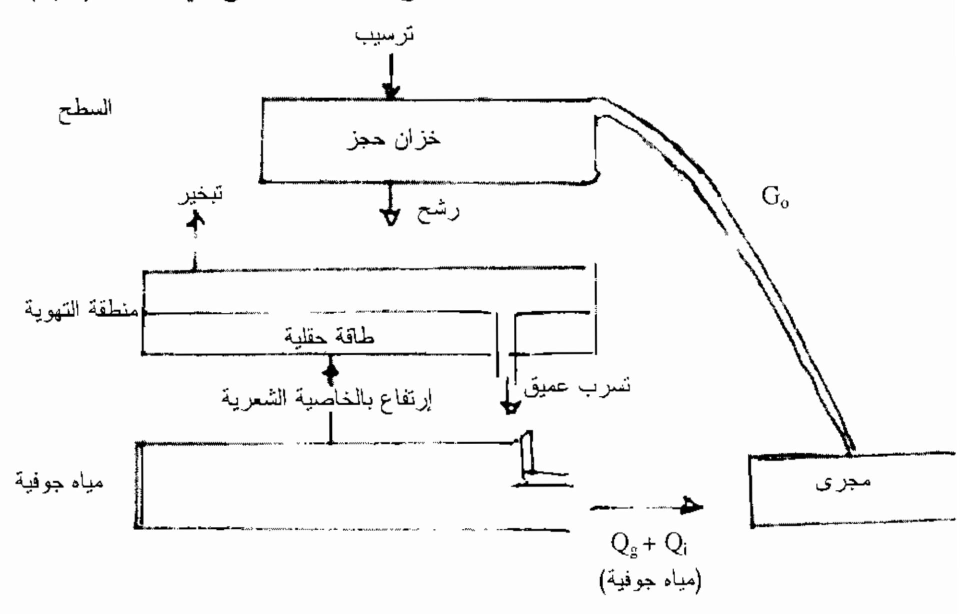
عملية الانسياب السطحي هي واحدة من الدورة المائية وهي موضحة في الشكل (١/٢).



شكل (١/٢) مخطط يمثل عمليات التدفق

التصور لحالة الدورة المائية:

الدورة المائية لا تخضع للتحليل الكمي للدراسة الهندسية أو النماذج الرياضية ولذلك فإنه لعمل فرضيات مقبولة. فإن أحد النماذج المقبولة موضح في الشكل (١/٣).



شكل (١/٣) المخطط المبسط لحوض صرف مستجمع مياه النهر

٣- المعادلة المائية (أو معادلة الميزانية المائية):

Hydrological Equation (or water-Budget Equation)

مع الفرضيات البسيطة فإن الدورة المائية لحوض الصرف يمكن التعبير عنها بمعادلة الاتزان الآتية:

$$P = R + E \pm \Delta S$$

حيث:

P = كمية الماء التي تسقط كترسيبات خلال فترة زمنية معينة على سطح حوض الصرف غير المسامي وليس له أي انخفاض.

R = كمية الانسياب للمياه التي تسيل بعيدًا عن السطح.

E = كمية المياه التي تتبخر من سطح الماء ومن التربة والنباتات في الحوض.

Δ S = كمية المياه التي زادت أو نقصت في تخزين الخزانات الـسطحية، أو الميـاه تحت السطح في حوض الصرف.

الانسياب R بعيد عن السطح (Run Off R): هو جزء من الترسيبات الذي يظهر في المجاري المائية بعد كفاية احتياجات التخزين بالاعتراض (Interception Storage) البخر والنتح ولا يتم امتصاصه في التربة العميقة في حوض الصرف.

من المهم أن كل عناصر هذه المعادلة يجب أن تكون لنفس الفترة الزمنية. عملية الدورة المائية لم تتغير نوعيًا خلال الـ ٥٠ سنة الماضية وقد لا يكون هناك احتمـال تغير أساسي في المستقبل.

يمكن كتابة الميزان المائي (Hydrological Budget) لمنطقة ما كالآتي:

$$P = R + G + E + T \pm \Delta S$$

حيث G = الانسياب للمياه الجوفية:

T = النتح

باقي الرموز كما سبق شرحه.

من الوصف السابق يبدو أن أي نظام مائي يمكن شرحه بالميزان المـائي الـذى يراعي تنسيق وتدبير المدخلات إلى النظام والتغيرات في التخزين، رغم أن ($P = R + E \pm \Delta S$) تعتبر بسيطة إلى حد ما إلا أن التقدير الكمي للمصطلحات الموجودة يـشكل صعوبات كثيرة في المسائل العملية. هذا يعود إلى حقيقة أن حبيبات الماء تأخذ العديـد من المسارات المتغيرة قبل أن تنتهي إلى البحر، وأن الفترة الزمنية قد تكون في حدود ثوان، دقائق، أيام أو سنين. التقديرات المقبولة لمختلف مصطلحات المعادلـة المائيـة يمكن علمها بالدراسة المحلية ولكن على المستوى العالمي فإن التقدير الكمـي يكـون تقديره ضعيف.

الترسيب يتم قياسه بواسطة استخدام مقياس المطـــر (Rain Gauges). التــدفقات السطحية في الأنهار والمجاري المائية يمكن قياسها في الظروف الجيدة بنــسبة دقــة تصل إلى ٩٥% وبمساعدة الهدارات (Weirs)، عدادات السرعة.. الخ. ولكن الفيضان الكبير لا يمكن قياسه باستخدام الطرق المتاحة حاليًا. من الصعب تعيين كميات المـــاء المتبخرة، ومياه النتح. عمومًا، تقديرات البخر والنتح (ET) يمكــن الحــصول عليهـــا باستخدام حوض البخر، الطرق التجريبية، طريقة ميزان الطاقة.. الخ مجموع كميـــات المياه المتبخـــرة وكـــذلك ميـــاه النـــتح وضـــعت تحـــت المـــسمى البخـــر والنـــتح (Erapotranspiration). في هذه الحالة فإن المعادلة السابقة ($P = R + G + E + T \pm \Delta S$) يمكن تعديلها لتكون كالآتي:

$$P = R + G + ET \pm \Delta S$$

البيانات المناسبة عن حدود ومعدلات حركة المياه الجوفية ليست دائمًـــا متاحـــة. ولكن معادلة الميزان المائي تعتبر أداة مفيدة لتقدير مقدار والتوزيع الوقتي للمتغيـــرات المائية.

ولكن توجد نقطة تحذير. يجب عدم الاعتقاد الخاطئ من الشرح للشكل رقـــم (١) أن الماء يتحرك خلال، فوق، وتحت الأرض بمعدل ثابت ومستقر، تحرك المياه خلال مختلف المجالات للدورة المائية يعتبر غير نظامي وضال (Erratic) بالنـــسبة للوقـــت والمكان ويؤدي إلى الفيضان والجفاف من آن إلى آخر.

من المناقشة السابقة، يمكن القول أنه توجد أربع مجالات للدورة المائية وهي:

١ – الترسيبات (Precipitation)

٢– مجموع البخر والنتح (Erapotranspiration)

٣– تدفق المجرى Stream Flow

٤– المياه الأرضية Ground Water

المجالين رقم (١) ، (٢) هما مجالات جوية ومن بين موضوع علـــوم الأرصـــاد الجوية المائية (Hydrometeorology).

العمليات رقم (٣) ، (٤) يمكن تصنيفهم تحت مسمى الانسياب والتدفق السطحي (Run Off).

وسيتم تناول العناصر الأساسية لعلم الأرصاد الجوية المائية في البند (٤) من هذا الفصل، والتدفق السطحي في الفصول التالية.

مثال:

حوض صرف بمساحة ١٢٠٠٠ كيلو متر مربع استقبل سقوط أمطار مقداره ٨٠سم في عام ١٩٩١. ثم قياس التدفق السطحي الناتج في نهر صرف مساحة، ومعدله السنوي للتدفق كان ٢٠٠ متر مكعب في الثانية. مع عمل التقديرات المناسبة، حيثما كان ضروريًا، احسب البخر والنتح من المساحة.

الحل:

الخطوة رقم (١): اكتب معادلة الميزان المائي في شكل

$$ET = P - R - G - \Delta S$$

في هذه المعاملة R, P معلومين من قبل، كلاً من G و ΔS يتم معرفتهم أو افتراضهم.

الخطوة رقم (٢): افترض أن التقسيم الجوفي والطبوغرافي متطابق ومتزامن أي لا يوجد تدفق مياه جوفية نحو المجاري السطحية. هذا يعني أن $G = 0$ (يمكن القول أنه في حالة حوض الصرف الصغير، فإن مكون المياه الجوفية قد لا يكون صفر).

الخطوة رقم (٣): افترض كذلك أن حجم المياه الجوفية لم يتغير خلال عام ١٩٩١. في تلك الحالة ΔS = صفر (يجب الإشارة، أنه في حالة الفترات القصيرة هذه، فإن مكون المياه الجوفي قد لا يكون صفر).

الخطوة رقم (٤):

حول التدفق السطحى، R إلى عمق سم في العام

$$R = \frac{200 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365}{12000 \times 10^6} \times 100 = 52.56 \text{ cm/yr.}$$

الخطوة رقم (٥):

$$ET = 80 - 52 - 56 = 27.44 \text{ cm/yr}$$

= ٢٧,٤٤سم في العام. =

بيان بموارد المياه في العالم:

بهدف الإدارة الجيدة والاستخدام الجيد للمياه فإنه يكون من الضروري معرفة الموارد المائية في العالم. لقد قدر أن حوالي ١٤٠٠ × ١٠^١٥ متر مكعب من المياه توجد على الأرض، من بينها ٩٧% في المحيطات في شكل مياه مالحة، ٢% في شكل مياه متجمدة في الأقطاب الجليدية (Ice caps)، ٠,٣١% يوجد في المياه الجوفية العميقة. توزيع المياه العذبة مبين في الجدول التالي:

جدول (١/١) توزيع المياه العذبة على الأرض.

المكان	نسبة المياه
القطب الجليدي	٧٥% تقريبًا
تحت الأرض	٢٤%
البحيرات	٠,٣%
رطوبة التربة	٠,٠٦%
الجو	٠,٠٣٥%
الأنهار	٠,٠٣%

إجمالي المساحات الأرضية والبحرية هي ١٣٦ × ١٠^٦ كيلو متر مربع، ٣٧٤ × ١٠^٦ كيلو متر مربع على التوالي. الترسيب (بجميع أشكاله وأنواعه) على المساحات الأرضية والبحرية هو ٧٤٥ مليمتر في العام، ٨٧٠ مليمتر في العام على التوالي. التبخير من مساحات اليابسة والبحر هو ٥٤٥ مليمتر في العام، ٩٤٠ مليمتر في العام على التوالي. من دراسة التدفقات السطحية من مختلف المناطق في العالم فقد وجد أن أقصى تدفق سطحى في أمريكا الجنوبية (٤٥ سم) وأمريكا الشمالية ٣١سم بينما أستراليا هي الأكثر جفافًا من بين كل القارات.

عناصر علم الأرصاد الجوية (Elements of Meteorology)

بعد مناقشة الدورة المائية كميًا ونوعيًا، فإنه من الطبيعي أن تتم معرفة العوامل المختلفة للعناصر المكونة لمعادلة الاتزان.

علم الأرصاد الجوية يتعامل مع الماء في الجو. حدوث أو عدم حدوث الترسيبات يعتمد إلى حد كبير على مجموع من ضروريات معينة في الجو والتي يتم تعيينها من قياسات المناخ مثل الإشعاع الشمسي، الرطوبة، سرعة الرياح... إلخ.... تحرك الغلاف الجوي للأرض (Earth's Atmosphere)، يتم بواسطة الطاقة القادمة من الشمس مباشرة. الاعتبارات الجغرافية مثل خطوط العرض (Latitudes)، الارتفاع (Altitude)، طبوغرافية ومكان المساحات الأرضية والمائية ذات التأثير على طبيعة وتوزيع الحالات الجوية فوق الأرض. لذلك، فإنه يكون من الأساسي والمهم معرفة وتفهم دورة الغلاف الجوي نظرًا لتأثيراتها على القياسات المناخية.

وسوف تتم مناقشة العناصر الرئيسية للأرصاد الجوية.

١- الإشعاع الشمسي:

الإشعاع الشمسي هو المحرك الأول للدورة المائية والمسؤول عن تغير الجو والمناخ في العالم. الإشعاع يعتمد على درجة الحرارة المطلقة. يمكن القول أن كل الأشياء ذات درجة حرارة تبعث إشعاع. الشمس عند درجة حرارة ٦٠٠٠ درجة حرارة كيلفن تبعث إشعاع وبالمثل الأرض والجو، كلاهما له درجة حرارة تقارب ٢٨٧ كيلفن يبعث إشعاع، الإشعاع من الشمس هو إشعاع قصير الموجه (Short Wave Radiation)، والإشعاع من الأرض طويل الموجة(Long wave). لذلك، فإنه يوجد تبادل للإشعاع الشمسي القادم والإشعاع الأرضي الخارج. هذا التبادل ذو أهمية في علم المياه.

الإشعاع يقاس بوحدات الطاقة على وحدة المساحة والوقت، مثال جول على المتر المربع في الثانية ($JM^{-2} S^{-1}$) هو وحدات القياس الدولية.

الجول (Joule) هو الشغل الذي يتم بوحدة قوة (واحد نيوتين) فوق وحدة إزاحة (Displacement) أي متر واحد. النيوتين هو القوة التي تنتج اتساع (عجلة) واحدة (متر/ثانية$^{-2}$) (m/sec^{-2}) في وحدة الكتلة (كيلوجرام).

واحد جول للشغل في الثانية يعرف بالقوة أو القدرة أو القوة المحركة (Power).

لتقدير كميات الحرارة بالجول، استخدم العلاقة:

واحد كالوري = ٤,١٨٦٨ جول.

نسبة كمية الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض إلى كمية الإشعاع المنعكس بواسطة السطح تتراوح ما بين ٠,٠٨ إلى ٠,٣ للتربة، من ٠,٠٥ إلى ٠,١٨ للغابات، ٠,٠٥ إلى ٠,٥٥ للماء، وتصل إلى ٠,٧٨ للثلوج.

الإشعاع الشمسي المباشر يقاس بواسطة (Phrheliometer) التقدير غير المباشر للإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض يتم باستخدام معلم مقاس (Measurable Parameters) وهو المستخدم عمومًا.

٢- درجة الحرارة (Temperature)

الذي نعنيه هو درجة حرارة الهواء. الترمومترات التي يتم إقامتها لقياس درجة الحرارة يجب أن تكون معرضة بدون إعاقة لدوران الهواء وفي نفس الوقت يجب أن تتم حمايتها من إشعاع الشمس المباشر والترسيب. معظم المحطات تقوم بالملاحظة اليومية لدرجة الحرارة الأدنى والأقصى والعادية بينما التسجيل المستمر أو كل ساعة لدرجة الحرارة يتم في محطات قليلة مختارة.

درجة حرارة الهواء تقل مع زيادة الارتفاع أي أنه يوجد تدرج رأسي في درجة الحرارة ويوجد إنخفاض مقداره ٠,٧ درجة مئوية لكل زيادة في الارتفاع مقدارها ١٠٠ متر. يستخدم التدريج المئوي (Celsios Scale) للأغراض المائية ولأغراض الأرصاد الجوية. ولكن درجة حرارة الأرصاد الجوية المطلقة عادة تعطى بدرجات كيلفن (Kelvin). من الملاحظ أن درجة الحرارة تبدأ في الارتفاع قليلاً بعد شروق

الشمس والذروة يتم الوصول إليها بعد من ٢ – ٣ ساعة من وصول الشمس إلى أقصى ارتفاع. عندئذ يوجد إنخفاض في درجة الحرارة خلال الليل إلى الأدنى غالبًا عند توقيت شروق الشمس. هذا يعني أن التغير في درجة الحرارة يتبع التغير اليومي في الإشعاع الشمسي. كذلك فإن حالة السماء (صافية أو فيها سحب) تؤثر على مجال درجة الحرارة. في الأيام حيث ظهور السحب في السماء تكون أدنى درجة حرارة أعلى لأن جزء من الإشعاع الصاعد ينعكس ثانيًا إلى الأرض، درجات الحرارة يتم قياسها في محطات الأرصاد ويتم تسجيلها على خرائط لفترة زمنية معينة. ثم يستم توصيل النقط ذات درجة الحرارة الواحدة بما ينتج عنه خريطة خطوط درجات الحرارة المتساوية (Isotherms).

٣- الرطوبة (Humidity)

يمكن تعريف الرطوبة بأنها بخار الماء في الهواء. كمية صغيرة فقط من بخار الماء يمكن احتوائها في درجة حرارة وضغط معين. في علوم المياه فإن بخار الماء يعرف بأنه الضغط الناتج من جزيئات البخار ويقدر بالملي بار (وأحيانًا يقدر بالبوصة من الزئبق). ضغط بخار التشبع Saturation vapour pressure – (VS) هو أقصى ضغط بخار في فراغ مشبع ويتوقف على درجة الحرارة فقط.

لذلك، فإن ضغط البخار هو مؤشر للمحتوى من الرطوبة في الجو. مقادير ضغط بخار التشبع تتم عمومًا قراءتها من جداول الأرصاد الجوية والمعادلة التجريبية التالية يمكن أن تعطي قيم ضغط بخار التشبع فوق الماء بمقدار تقريبي ١% (في المجال من –٥٠ إلى ٥٥°م).

$$V_s = 33.8639\ [(0.00738T + 0.8072) - 0.000019\ [1.87 + 48] + 0.001316]$$

حيث:

V_s : تكون بالملي بار (Millibars)

T : درجة الحرارة المئوية.

الماء يتحول إلى البخار بالتبخير من أسطح الماء. يوجد تبادل مستمر لجزيئات الماء من وإلى الجو. ولكن مصطلح التبخير كما هو مستخدم في علوم المياه يمكن تعريفه بأنه صافي معدل انتقال البخار (Net Rate of Vapour Transfer). كما تمت مناقشته سابقا، فإن التبخير هو ذلك المجال من الدورة المائية الذي فيه الترسيبات التي تصل إلى سطح الأرض تعود ثانيًا إلى الجو. العملية التي يتغير بها البخار إلى الحالة السائلة أو الصلبة تسمى التكثف (Condensation). العملية التي تتحول بها المادة الصلبة مباشرة إلى حالة البخار والعكس صحيح تسمى التسامي (Sublimation). كلا من التبخر والتكثف يحدد في الفضاء في نفس الوقت، في حالة التصاق الفضاء بمجال مشبع مثل الماء بخلاف ذلك فإن معدل التبخير سوف يزيد عن معدل التكثيف. في الفضاء المشبع، يتوازن كلاً من التبخير والتكثيف في حالة درجة الحرارة الواحدة لكل من الهواء والماء. في التبخير، فإن جزئيات الماء التي لها طاقة حركية كافية (تزيد عن قوى الجذب التي تعمل على إمساكها خلال جسم الماء السائل) تترك سطح الماء. لذلك فإن التبخير يزيل الحرارة من السائل الجاري تبخيره وفي العملية العكسية أي في حالة التكثيف تضاف حرارة إلى النظام.

حرارة التبخير الكامنة (Latent Heat Of Vaporisation) هي كمية الحرارة الممتصة بوحدة الكتلة من المادة عند مرورها من الحالة السائلة إلى حالة البخار، مع الاستمرار في عدم التغير في درجة الحرارة. التغير من حالة البخار إلى حالة السائل يطلق كمية مكافئة من الحرارة.

مع زيادة درجة الحرارة، فإن الطاقة الحركية للجزيئات التي تتسرب من سطح الماء تزداد ويقل الجذب السطحي، ونتيجة لذلك يزداد معدل التبخير. حرارة التبخير (HV) بالسعر الحراري للجرام تتغير مع درجة الحرارة ويمكن أن تقدر حتى ٤٠°م بالمعادلة الآتية:

$$H_v = 597.3 - 0.564T$$

كمية الحرارة المطلوبة لتحويل جرام واحد من الثلج إلى الماء السائل عند نفس درجة الحرارة تسمى الحرارة الكامنة للذوبان للماء (Latent Heat of fusion for water). في العملية العكسية لتحويل جرام واحد من الماء السائل عند درجة صفر مئوية إلى الثلج، مع ثبات درجة الحرارة، فإنه يحدث انطلاق للحرارة الكامنة للانصهار (Latent Heat of fusion) (في هذا فإنه يتم انطلاق ٧٩,٧ كالوري لكل جرام واحد).

كمية الحرارة اللازمة لتحويل جرام واحد من الثلج إلى بخار بدون المرور خلال الحالة المتوسطة للسائل، ومع استمرار درجة الحرارة بدون تغيير تسمى الحرارة الكامنة للتسامي (latent Heat of Vaporization). من الواضح فهي تساوي مجموع حرارة التبخير والحرارة الكامنة للانصهار. التكثيف المباشر للبخار إلى الثلج (بدون المرور خلال الحالة السائلة المتوسطة) وعند نفس درجة الحرارة سوف يطلق كمية مكافئة من الحرارة.

الرطوبة النوعية (Specific Humidity) (SH) تعرف بنسبة كتلة بخار الماء بالجرام إلى كتلة الهواء الرطب، بالكيلو جرام.

$$SH = 622 \frac{V}{P_a - 0.378\,V} = 622 \frac{V}{Pa}$$

حيث:

V = ضغط البخار بالمللي بار (Millibars)

P_a = الضغط الجوي بالمللي بار

الرطوبة النوعية تميل إلى أن تظل ثابتة غالبًا في كتلة الهواء لحين حدوث عاصفة (Storm) والتي تزيل كميات كبيرة من الماء الجوي. يوجد حد أعلا لكمية بخار الماء الذي يمكن أن يحتويه حجم الهواء. ضغط البخار للجزئيات عند الحد الأعلى هذا يسمى ضغط بخار التشبع (Saturation Vapour Pressure) (V_s). لقد وجد أن (V_s) هي دالة غير طولية (Non-linear function) لدرجة حرارة الهواء. الرطوبة

النسبية (R_H) تعتبر أفضل طريقة لتوصيف كمية الماء الموجود فى الجـو. الرطوبـة النسبية تعرف بنسبة الحقيقي إلى ضغط بخار التشبع وتقدر بالنسبة المئوية.

$$R_H = (V / V_s)\ 100$$

الفرق بين الرطوبة الحقيقية والقصوى يسمى نقص التشبع ,(Saturation Deficit) (d)، ويسمى أحيانًا قوة التجفيف (Drying Power) للهواء. معادلـة الاتـزان المـائي (Hydrological Balance Equation) تتأثر بقوة بنقص التشبع للهواء الرطـب. درجـة الحرارة التي عندها يتم الوصول إلى التشبع عند التبريد عند الضغط الثابـت وضـغط البخار الثابت تسمى نقطة الندى (Dew Point).

الرطوبة النسبية تتناسب عكسيًا مع درجة الحرارة لذلك فإنها تزداد مع زيادة خط العرض وتصل إلى أقصاها في الصباح الباكر وإلى أدناها في فتـرة بعـد الظهـر. والرطوبة الجوية تميل إلى الانخفاض مع زيادة خط العرض (Latitude)، وكذلك تقـل مع الارتفاع، وتكون عند أدناها في الشتاء وعند أقصاها في الصيف.

رطوبة الهواء تقاس بواسطة جهاز مقياس رطوبة الجو (Psychrometer) (وهـو ذو البصيلتين المخضلة والجافة) وهو يتكون من اثنين من الترمومترات. بصيلة أحدهم تكون مغطاة بغلاف من نسيج القطن الرقيق (Muslin) النظيف المشبع بالمـاء. نظـرًا لأن التبخر من السطح المشبع سوف يحدث تـأثير تبريـد، فـإن البـصيلة الرطبـة للترمومتر سوف تقرأ أقل عن البصيلة الجافة للترمومتر. كذلك يمكن تعيـين رطوبـة الهواء بقياس درجة حرارة نقطة الندى. يتم ذلك بواسطة مقياس الندى (Dew Gauge) أو بواسطة جهاز قياس الرطوبة النسبية فـي الجـو (Condensation Hygrometer). الطريقة المناسبة ولكن ليست دقيقة لقياس رطوبة الهواء هي مقياس الرطوبة بالـشعر (Hair Hygrometer) المبنى على قدرة الشعر البشرى على التفاعل مع التغيرات فـي رطوبة الجو بالتمدد أو الانكماش.

ضغط البخار (V) يتم حسابه بالعلاقة الآتية:

$$V = V_s - 0.00066\ (t\text{-}tw)\ (1 + 0.00115tw)$$

حيث:

t = درجة حرارة البصيلة الجافة (درجة حرارة الهواء) في صفر درجة مئوية.

tw = درجة حرارة البصيلة الرطبة عند صفر درجة مئوية.

الفرق ما بين (t-tw) يعرف بانخفاض البصيلة الرطبة (Wet Bulb Depression). جداول مقياس الرطوبة متاحة وهي تبين نقطة الندى، الرطوبة النسبية وضغوط البخار المشبع (انظر الملحق – A).

٤ – الرياح Wind:

الهواء قد يكون ساكنًا أو متحركًا. الهواء المتحرك يعرف بالرياح. الرياح تعمل كمجال لانتقال الرطوبة والحرارة من وإلى الأسطح التي تلتصق بها ولذلك تسبب تأثير كبير على البخر وفي استمرار إنتاج الترسيب. إنه فقط خلال التدفق الدائم للهواء المحمل بالرطوبة في العاصفة حيث يمكن للترسيب أن يستمر. الرياح هي (Vector) أي كمية موجهة أو منتجة والتي لها كل من السرعة والاتجاه.

سرعة الرياح يتم قياسها بمقياس الرياح (Cup Anemometers). هذا الجهاز يتكون بواسطة (Robinson Cup Cross) الذي يشمل ثلاث أو أربع أقداح مثبتة على محور رأسي. جهاز القياس الموجود أسفل القدح (Cup) يسجل عدد الدورات في الدقيقة لهذا المحور الرأسي وبذا يمكن معرفة سرعة الرياح. يمكن الحصول على التجهيز الآلي لتسجيل السرعة، الاتجاه وهبة الريح (Gust) على مخطط (Graph/tape). سرعة الرياح تتغير كثيرًا مع الارتفاع فوق الأرض. لا يوجد مقياس قياسي لمستوى سرعة الريح. في الطبقات السفلى للغلاف الجوي تقل سرعة الرياح ويوجد تغير في الاتجاه، بسبب المقاومة (الاحتكاك) الذي تسببه العقبات مثل المباني، الأشجار.. إلخ. تلك التأثيرات تصبح مهملة عند حوالي ٦٠٠ متر فوق الأرض. هذا المفهوم يشبه إلى حد ما بالطبقة المتاخمة (Boundary layer) في نظرية الطبقة المتاخمة في ميكانيكا الموائع (Fluid Mechanics). التغير في سرعة الرياح في طبقة الاحتكاك بالتوزيع اللوغاريتمي للسرعة والذي يمكن تقريبه بعلاقة نوع قانون القوة (Power law Type) الذي يبسط عملية الحساب.

عادة، مهندس علوم المياه يهتم فقط بمعرفة سرعة الرياح في هذا الاحتكــاك أو طبقات السطح المتاخمة مثل معرفة سرعة الرياح فوق سطح المـــاء لحـــساب البخـــر والنتح. جهاز قياس سرعة الرياح يتم وضعه عادة عند مستوى حوالي ١٠ متر فـــوق الأرض عند وقت الملاحظة. في نفس الخط مع مبادئ ميكانيكا الموائع، فإن التوزيـــع اللوغاريتمي للسرعة المستخدمة لأغراض الأرصاد الجوية تكون كالآتي:

$$\frac{V_m}{V_o} = \frac{1}{K} \; Log_e \; \frac{Z}{Z_o} \quad ; Z \geq Zo$$

حيث:

V_m = متوسط سرعة الريح عند الارتفاع (Z) فوق الأرض

K = ثابت يساوي ٠,٤

Z_o = طول الخشونة الذي هو مقياس لخشونة السطح وكذلك الارتفاع الذي عنـــده تصبح سرعة الريح صفر

Vo = سرعة الاحتكاك والتي تعرف بالآتي:-

$$\left(\frac{T_o}{p}\right)^{V^2}$$

T_o = إجهاز القص المتاخم

P = كثافة الهواء

يفترض أن إجهاد القص ليس بدلالة على الارتفاع. حيث التقريب الأولـــى (V_o) يؤخذ ليساوي (0.10Vm).

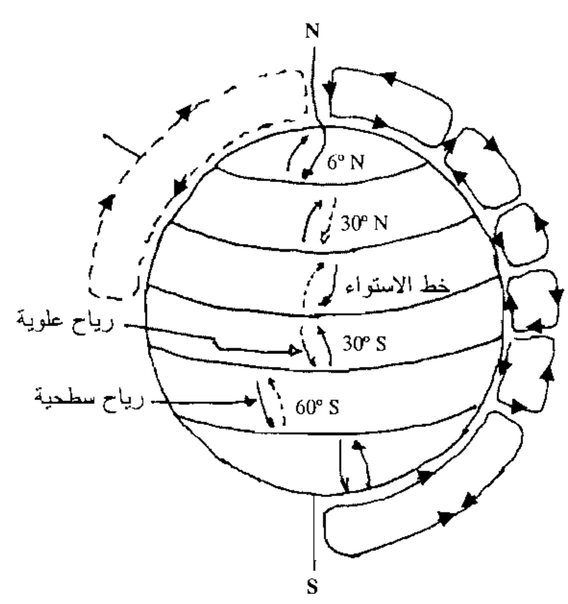
مقدار (Z_o) للمجال المتسع لخشونة السطح تمت جدولته وكتقريب أولى، يمكن أن تؤخذ $Z_o = \frac{1}{30} Z.$

دوران الغلاف الجوي: (Atmospheric Circulation)

السلوك الحركي للغلاف الجوي للأرض معقد، ذلك لأن الأرض تـــدور ولا يـــتم تسخينها بالتساوي حول خط الاستواء (Equator). ولكن، الإطـــار العـــام للتحركـــات

الأرضية مازال يمكن استنتاجه من متوسط ظـروف درجـات الحـرارة والـضغط الموجودة خلال الغلاف الجوى.

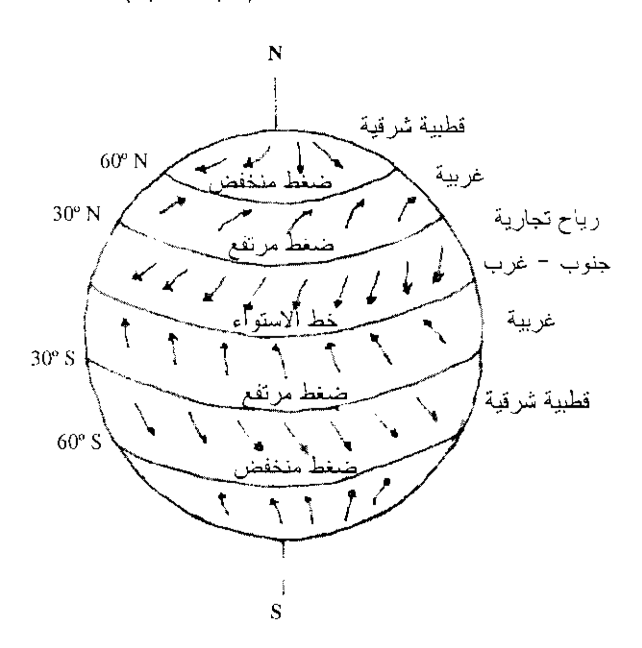
الشمس تميل إلى تسخين الغلاف الجوي القريب من خط الاستواء إلـى درجـة أعلى عن المناطق القريبة من الشمال والجنوب. بسبب هذا الاختلاف فإن كتل الهـواء الساخنة ترتفع. الحالة العامة للبرودة تحدث عند الأقطاب الشمالية والجنوبيـة مـسببة هبوط الكتل الهوائية. هذا السلوك موضح في المخطط بطريقة الحلقـة الواحـدة فـي الشكل (١/٤).



شكل (١/٤) دوران الغلاف الجوى للأرض

عندما ترتفع كتلة الهواء عند خط الاستواء، فإنها تبرد وتتحرك نحـو الأقطـاب الشمالية والجنوبية. نظرًا لأن عملية التبريد تحدث فجأة فإن كتل الهواء تهبط عند خط طول (30°N) وليس بتكملة الرحلة نحو القطبين. الكتلة الهوائية فـي نـصف الكـرة الشمالي ذو المنطقة عالية الضغط يتحرك شمالاً ويقابل التحرك الجنوبي من المنطقـة القطبية، بما ينتج عنه ثلاث خلال منفصل دوارة شكل (٦). إذا كانـت الأرض ثابتـة فإننا يمكن أن نرى الرياح تهب مباشرة شمالاً وجنوبًا. تحرك الهواء من منطقة القطب

الشمالي إلى المنطقة الجنوبية له فقط مركب سرعة أولية جنوبية. نظـرًا لأن الأرض تدور، بالنسبة لملاحظة الواقف على الأرض، فإن الرياح من القطب الشمالي تبدو أنها تتدفق نحو الجنوب الغربي، بذا خلق منطقة من القطب الشرقي Pale Easterlies عنـد خط عرض ٦٠ درجة شمالاً (60°N). الشكل (١/٤، ١/٥).



شكل (١/٥) اتجاهات الريح والضغط قريبا من سطح الأرض

بنفس الطريقة تنتج الاتجاهات الغربية والشرقية (Westerlies) (Easterlies) فـي المناطق شمال وجنوب خط العرض ٣٠ درجة شمالاً (30°N) على التوالي كمـا فـي الشكل (١/٥). حالات مشابهة تسود في نصف الكرة الجنـوبي باسـتثناء أن الريـاح السطحية تحيد نحو اليسار. الرياح المكملة دوران الغلاف الجوي تحدث عند ارتفـاع عالي وهي موضحة كذلك في الشكل (١/٥).

متوسط الضغط واتجاهات الرياح موضح في الشكل (١/٥). الضغط العالي يسود في المناطق القريبة من خط العرض ٣٠ درجة شمالاً (30°N) وجنوب خط الاسـتواء. الصحراء الجافة الكبيرة في العالم توجد في تلك المنطقة. الهواء الهابط يكـون جافـًا.

على المحيط تلك المناطق يكون لها سماء صافية وترسيب ضعيف. الضغط المنخفض يسود في المناطق القريبة من خط العرض ٦٠ درجة شمالاً (60°N) وجنوب خط الاستواء، تحدث ترسيبات متوسطة في تلك المناطق.

تحركات الغلاف الجوي تكون شديدة ومعظم العواصف ترى أحيانًا أنها تحدث في تلك المناطق.

<u>الترسيبات – أشكالها وأنواعها:</u>

<u>Precipitation - It's Forms And Types</u>

لقد سبق مناقشة أنه توجد درجة حرارة معينة (نقطة الندى) التي عندها بخار الماء في الهواء يصل إلى حد التشبع. الآن في حالة تبريد هذا اليوم إلى أقل من نقطة الندى، عندئذ فإن جزء من البخار الموجود فيها يتكثف حول نويات التكثيف (Condensation Nuclei). نقاط أو بللورات الماء تتجمع معًا في شكل نقاط أو بللورات كبيرة وتتحرك نحو الأرض بما ينتج عند المطر، البرد، وخليط من المطر والثلج (Sleet)، والثلج (Snow). هذا النوع من التكثيف قد ينتج من التبريد الحركي النشط (Dynamic Cooling) أو خليط من كتلتين من الهواء عند درجات حرارة مختلفة. يجب في هذه المرحلة أن نتذكر أن تكثيف بخار الغلاف الجوي ينتج عنه عمومًا تكوين السحب. في أثناء فصل الصيف يلاحظ أن كل السحب لا تنتج ترسيب، البعض منها يصبح صغيرًا وأخيرًا يتلاشى نتيجة للتبخر. في حالة التكثيف لبخار الماء في الهواء على أو قريبًا من سطح الأرض، فإن الترسيب يحدث في شكل ضباب (Fog)، ندى (Dew)، صقيع (Frost)، ثلج (Ice). هذا التكثيف يحدث نتيجة التصاق و / أو التبريد الإشعاعي، التكثيف يحدث نتيجة خلط كتل الهواء، تبريد الالتصاق، إشعاع التبريد نادرًا ما ينتج ترسيب بينما الترسيب يحدث نتيجة التبريد النشط أي التبريد بدون فقد حرارة في المجال الملاصق (Diabatic Cooling) وهو السبب في كل الترسيب تقريبًا. نظرًا لأن الأشكال الأخيرة للترسيب (الضباب، الندى.. إلخ). تحدث قريبًا من الأرض، فإنه لا يمكن التقاطها بأي من أجهزة القياس المتاحة حاليًا للترسيب. في مجال التحليل للعلوم المائية، فإن المطر والثلج هما الأشكال الهامة للترسيب.

مما سبق توضيحه، يبدو أنه لحدوث الترسيب في أشكاله المختلفة فإنه يجب توفير الحالات الثلاثة التالية:

أ – بخار الماء يجب أن يصبح مشبعًا عادة من خلال التبريد.

ب – بخار الماء يجب أن يغير مجاله إلى السائل و / أو الصلب.

جـ – نقاط أو بللورات الماء يجب أن تنمو في الحجم بحيث يمكنها أن تسقط.

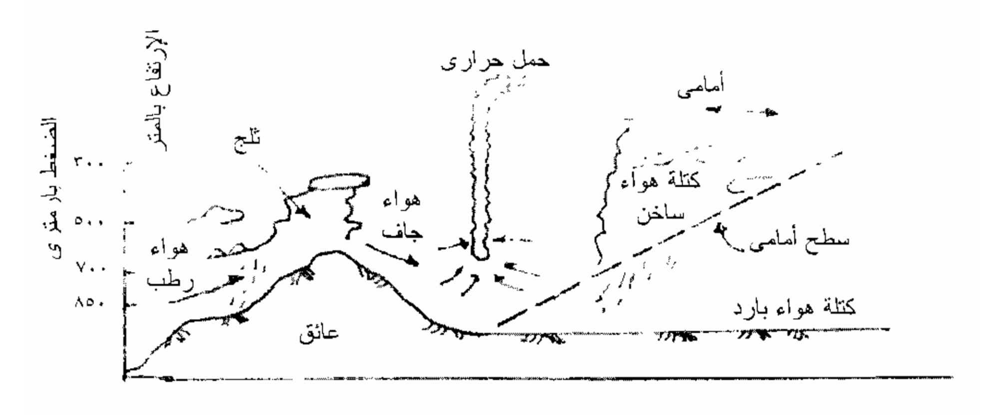
أحيانًا قد تتكون سحب نتيجة للحالات أ، ب ، ولكن قد لا يحدث ترسيب بسبب عدم تحقيق الحالة الثالثة بالشكل الكافي.

كتل الهواء عبارة عن أجسام ضخمة من الهواء ذات خواص طبيعية، تحديدًا المحتوى من الرطوبة ودرجة الحرارة متجانسة نسبيًا. كتلة الهواء تبين خواص منطقة المصدر الذي تكونت فوقه. صعود كتل الهواء بعمليات الحمل الحراري (Thermal Convection)، عمليات الإعصار الجوي الحلزوني وعمليات الجبال (Drographic) تسبب البرودة.

ينتج الترسيب بالحمل الحراري برفع وتبريد الهواء الذي يكون أكثر سخونة عن المجال المحيط، العواصف الناتجة عندئذ تسمى عواصف رعدية (Thunder Storms) أو صواعق السحاب (Cloud Bursts).

مثل هذه العواصف عادة تغطي مساحات صغيرة وتكون لمدة قصيرة ولكنها تكون ذات شدة عالية. المساحات الأرضية عند خط الاستواء والقريبة منه حتى خط عرض ٣٠ درجة شمالاً (30°N) تقريبًا وجنوب خط العرض (شكل ٦) تكون معرضة للأشعة المباشرة للشمس، نتيجة لذلك فإن الهواء القريب من سطح الأرض يتم تسخينه ويرتفع، ويتمد وتحدث البرودة وجزء من الرطوبة زيادة عن محتوى نقطة الندى يتم انطلاقه في ترسيب الحمل الحراري. بعد هذا تستمر كتلة الهواء في رحلتها نحو القطبين التي تظل ساخنة ومحملة ببخار الماء.

الرفع الحلزوني (الدوامة) ينتج من كتلة الهواء الساخنة واصطدامها مع والركوب فوق كتلة الهواء الباردة والأثقل شكل (١/٦). هذه الحالة تحدث عند خط عـرض ٦٠° شمالاً وجنوب خط العرض لسطح الأرض.



شكل (١/٦) أشكال الترسيب

يوجد حد معين (Defined Boundary) بين كتلتي الهواء والذي يـسمى الجبهـة القطبية (Polar Front). الترسيب المصاحب لتلك المنـاطق ذات الـضغط المـنخفض يسمى جهة الترسيب الدوامي. Frontal Cyclonic Precipitation. عند اسـتبدال كتلـة الهواء الساخن بكتلة الهواء البارد، فإن الترسيب يمتد فوق مساحات كبيرة ولـه شـدة تتراوح من الخفيفة إلى المتوسطة. على الجانب الآخر عند استبدال كتلة الهواء البـارد بكتلة الهواء الساخن، فإنه يتم إنتاج جبهة باردة (Cold Front) ويحدث الترسيب طبيعيًا في أحزمة ضيقة نسبيا قريبا من الواجهة السطحية (Surface Front) ويميـل إلـى أن يكون ذو طبيعة الرذاذ (Showery). عند مقابلة كتلة الهواء المتحركة كتلة هواء ساخنة ثابتة، فإن تلك الأخيرة يحدث لها صعود إلى أعلى فوق كتلة الهواء البارد، وحـدوث برودة ديناميكية عند الارتفاعات العالية مما ينتج عنه ترسيبات. مثل هذه الترسـيبات تسمى الترسيب غير الأمامي Non Frontal Precipitation.

الرفع الجبلي (Orographic Lifting) ينتج عند إجبار الهـواء الرطـب الـساخن للارتفاع عند المرور فوق الجبال شكل (١/٨). يحدث الترسيب الثقيـل نتيجـة هـذه العملية، كمثال في الهند مثل هذا النوع من الترسيب على الميول الجنوبيـة للهيمالايـا ينتج عنها ترسيب سنوي في المتوسط يكون مرتفعًا إلى حد ١٢٠٠سم.

الكتل الهوائية قد ترتفع كذلك عند التحرك من المساحات المائية إلى الأرضية، حتى في حالة عدم وجود حاجز جبلي. في أثناء الليل، وخلال فصل الشتاء، عندما تكون الأرض أكثر برودة من الماء، فإن الكتل المحملة بالرطوبة تحمل فوق الأرض، تحدث برودة لمثل هذه الكتل الهوائية ويحدث الترسيب. يحتمل وجود سببين لذلك الذي يحدث، درجة حرارة الهواء قد تنخفض إلى ما دون نقطة الندى و/ أو تسبب زيادة خشونة سطح الأرض، زيادة الاحتكاك والاضطراب الهوائي حيث يدفع الهواء العلوي للارتفاع والتبريد الديناميكي. ولكن الترسيب بهذه العملية ليس بالثقل مثل الذي بسبب الحاجز الجبلي.

العاصفة يمكن أن تتضمن نوعين أو أكثر من عمليات الرفع والتبريد وقد لا تقع ضمن أي من التقسيم البسيط السابق مناقشته.

تراكم الثلج وانصهار الثلج:-

Snow- pack And snow – melt

تراكم الثلج هو التجميع للثلج الجديد والثلج القديم. بمجرد سقوط الثلج على الأرض فإنه يصبح جزء من تراكم الثلج. انصهار الثلج يمكن اعتباره أنه الترسيب المؤجل، لذلك فإنه سيتم مناقشته في الفصل الخاص بالترسيب. انصهار الثلج يلعب دورًا هامًا في علم المياه للأنهار التي تنبع من الجبال العالية. ليس كما في حالة سقوط الأمطار، فإن انصهار الثلج له تأثير متأخر على تدفق النهر.

تراكمات الثلج التى تحدث خلال شهور الشتاء يكون لها تأثير على تدفقات النهر خلال أشهر الربيع التالية. في بعض المساحات يساعد انصهار الجليد في إثراء رطوبة التربة اللازمة للحاصلات الزراعية وفي تغذية الخزان الجوفي.

قياس الثلج (Snow Measurement)

تستخدم أجهزة قياس سقوط المطر بعد تطويرها للحصول على قياسات الثلج وذلك عند سقوطه. عدادات قياس سقوط الأمطار عادة تكون مجهزة بأغلفة لخفض

تأثير الرياح. لتجنب التجمد للسائل عند درجات الحرارة المنخفضة يتم إضافة مادة مقاومة للتجمد مثل كلوريد الكالسيوم.

في المساحة المعرضة لسقوط الثلج الكثيف، تتم الدراسة الحقلية شهريًا أو كل خمسة عشر يوماً (Fortnightly) في نهاية الشتاء وبداية الربيع. يتم اختيار مسارات (Courses) الثلج في الأماكن الخالية من التأثيرات الشديدة للرياح والصرف الجانبي (Lateral) للثلج المنصهر نقاط أخذ العينات يتم وضعها على فواصل ٣ – ١٥ متر على طول مسار الثلج الذي تم اختياره. عينات تراكم الثلج يتم أخذها بواسطة أنبوب الثلج (Snow Tube) المزود بطرف قطع. بتدوير الأنبوب فإن طبقات الثلج يتم اختراقها. عند الوصول إلى قاع تراكم الثلج، فإن عمق الثلج تتم معرفته من التدريج على الأنبوب. يتم وزن محتويات الأنبوب لتعيين كثافة الثلج. المكافئ المائى للثلج يعرف بأنه عمق الماء الذي يزن نفس الكمية مثل تلك العينة. الكثافة تعرف بأنها نسبة حجم الثلج التي سوف يشغلها مكافئها المائي. لذلك فإن الثلج يمكن أن يوصف بالسنتيمترات من الماء. فمثلاً، إذا كانت كثافة الثلج في وقت السقوط هي أن عندئذ فإن ١٠ سم من الثلج سوف تكافئ ١٠ سم من الماء.

انصهار الثلج وانسياب الثلج (Snow Melt and Snow Run Off)

كمية الثلج المنصهر الناتج تتوقف على صافي التبادل الحراري بين تراكم الثلج والمجال الملاصق. مع حلول (Onset) المناخ الحار يبدأ انصهار الثلوج عند السطح أولاً. هذا الماء المنصهر أولاً يتحرك أسفل السطح ثم يتجمد ثانيًا بسبب التصاقه مع الطبقات السفلى من الثلج الأكثر برودة. أثناء عملية التجمد، يتم انطلاق حرارة التجمد التي ترفع درجة حرارة التراكمات الثلجية. درجة حرارة التراكم الثلجي تكون في زيادة مسبقًا بسبب الانتقال الحراري من الهواء والأرض. مع استمرار المناخ الحار، فإن درجة حرارة التراكم الثلجي ترتفع وعند وصولها إلى صفر درجة مئوية، يبدأ الماء في التدفق خلال التراكم ويصل الأرض. الآن التدفق قد يحدث عند هذه المرحلة. كمية التدفق الحقيقية، تتوقف على حالة رطوبة التربة التي تحكم عملية الرشح.

مثال:

احسب كثافة، المكافئ المائي، نوعية التراكم الثلجي للبيان الآتي:

أ – عمق التراكم الثلجي ١,٢ متر.

ب – وزن عينة من التراكم الثلج بحجم ٠,٠٣ متر مكعب هو ٤,٥ كيلوجرام ويعطي درجة حرارة نهائية ٨°م عند الخلط مع ٩ كيلو جرام من الماء عند ٣٢°م.

الحل:

الكثافة هي نسبة حجم الثلج التي سيتم إشغالها بمكافئها المائي أي

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{حجم الماء المكافئ}}{\text{حجم الثلج}} = \frac{(٤,٥/١٠٠)}{٠,٠٣} = ٠,١٥$$

مكافئ الماء هو عمق الماء الذي سوف يزن نفس الكمية مثل تلك العينة أي:

مكافئ الماء = ٠,١٥ × ١,٢ = ٠,١٨ متر.

نوعية تراكم الثلج: هي نسبة المحتوى من الثلج إلى إجمالي وزن التراكم الثلجي.

وزن المحتوى الثلجي بالجرامات يمكن الحصول عليه من العلاقة أن الحرارة المطلوب توفيرها (Furnished) بواسطة الماء = الحرارة اللازمة لصهر الثلج ولرفع درجة حرارة الثلج المنصهر إلى ٨°م.

أو ٩٠٠٠ (٣٢–٨) = (حرارة انصهار الثلج) × المحتوى من الثلج بالجرام + ٤٥٠٠

(٨ – صفر) = ٢١٦٠٠٠ = ٠,٠٨ (محتوى الثلج) + ٣٦٠٠٠

$$\text{محتوى الثلج} = \frac{١٨٠٠٠٠}{٨٠} = ٢,٢٥ \text{ كيلو جرام}$$

$$\text{نوعية الثلج} = \frac{٢,٢٥}{٤,٥} = ٠,٥$$

استجابة مستجمع (حوض) الأمطار: Response of a Catchment

مستجمعات الأمطار الطبيعية هي نظم معقدة والتي تتضمن كتلة ذات مقياس كبير وانتقال حراري عبر الأرض. للتمثيل الكامل لمثل هذا النظام فإنه يجب معرفة

المدخلات مثل الترسيبات لكل نقطة في الوقت والمكان، كمية الماء في كل نوع من التخزين شكل (١/١) وحركة لكل جسيم سائل. ولكن مثل هذه المعلومات ليست متاحة. لذلك فإنه يتم اللجوء إلى الفرضيات المقبولة وهو باستخدام المتغيرات التي هي بدلالة الوقت فقط وهي التقنية المعروفة باسم التكتل (Lumping) في نمذجة الاتزان المائي (Hydrological Modelling Balance).

استجابة حوض مستجمع الأمطار أو مستجمع ماء النهر أو حوض الصرف (Watershed) لحالات سقوط الأمطار النموذجية وحالات التربة يمكن تقديره من دراسة الجغرافيا المائية (Hydrograph) للمجرى. الجغرافيا المائية للمجرى هي تمثيل تخطيطي بياني (Graphical) للتغير في تصرفه مقابل الوقت. قد تتم الإشارة إلى المصطلحات:

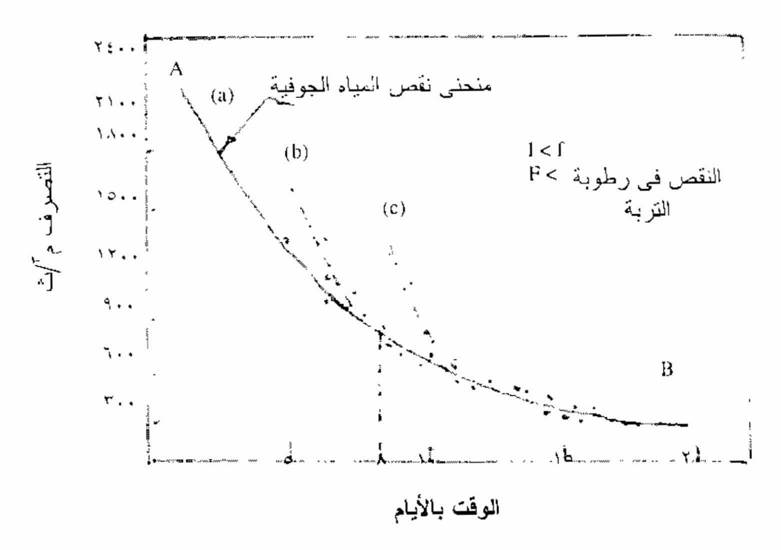
التدفق السطحي (Run off)، تدفق المجرى (Stream Flow)، التصرف وحصيلة حوض الصرف. وتلك المصطلحات تستخدم دائمًا خلال الكتاب.

بفرض أنه لا يوجد ترسيب مسبق وأن التدفق في المجرى يستمر بتدفق المياه الجوفية، فإن شكل الجغرافيا المائية سوف يختلف طبقًا للمقدار النسبي لسقوط الأمطار، التربة والمعايير الأخرى. تبدو أربع حالات التي سيتم مناقشتها.

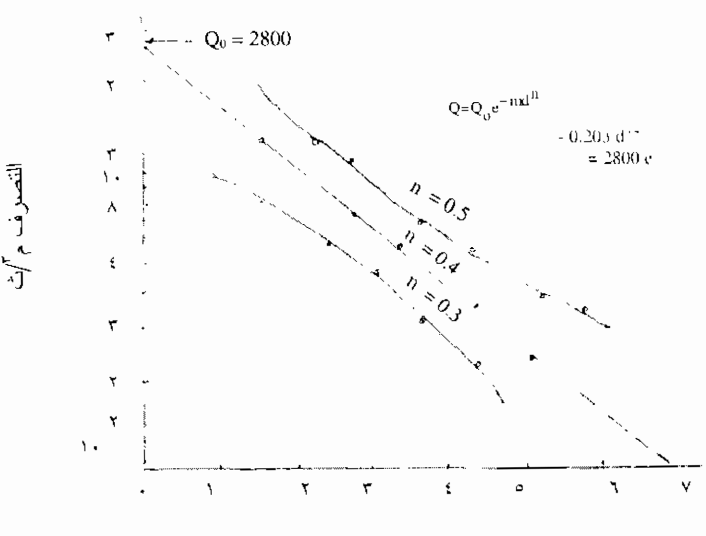
<u>الحالة الأولى:</u>

شدة سقوط الأمطار (I) تكون أقل من طاقم الرشح (f)، وإجمالي الرشح (F) ليس كافيًا لتحقيق النقص الحقلي في رطوبة التربة. في هذه الحالة، فإنه لا يوجد تدفق سطحي ولا يوجد تدفق مياه جوفية وأن زيادة التدفق في القناة سوف تكون صفر. سوف يستمر النقص في التدفق في المجرى بسبب النقص في مساهمة المياه الجوفية في القناة مع مرور الوقت.

الشكل البياني للجغرافيا المائية للمجرى بدون تدفق سطحي موضح في الشكل (٧ - أ/١).



شكل (أ) مخطط مائى للمجرى بدون تدفق سطحى



شكل (ب) توقيع Q مقابل d^n

شكل (٧ /١)

الترسيبات الساقطة مباشرة على المجرى يتم إهمالها كذلك في هذه الحالة. الحالة تمثل خصائص المطر الخفيف الساقط خلال اليوم. منحنى نقص المياه الجوفية كما هو

موضح في الشكل (٧-أ) الذي يرجع كلية لتدفق المياه الجوفية يمكــن التعبيــر عنــه رياضيًا كالآتي:

$$Q = Q_o e^{-md^n}$$

حيث:

Q = التصرف متر مكعب/ الثانية عند نهاية اليوم بعد توقف التدفق السطحي.

Q_o = التصرف عندما تكون d = صفر

كلا من m، n ثابت و (e) أساس (Napicrian) لتعيين قــيم (Q_o) و(n) لمــستجمع المطر، يتم عمل منحنى تراجع (Recession Curve) والذي يعتبــر الأكثــر تمثــيلاً، كمثال، في الحالة السابقة منحنى التراجع AB تم عمله من ثلاث عواصف ممثلة تحدث فوق مساحة الصرف. يتم ذلك بإزاحة الأجزاء المختلفة لمنحنى التراجع بالنسبة لمحور الوقت حتى يتم الحصول على التطابق وعندئذ يتم رسم المنحنى المركب خلالهم. فــي حالة اختيار أعلى نقطة مثل النقطة (P) على منحنى التراجع المركب شكل (٧ – أ/١) بحيث أن وقت الحدوث لأعلى نقطة يكون حرا من أي تدفق سطحي، عندئذ فإن هــذا الوقت يمكن أن يتم تعيينه بالوقت عندما تكون d = صفر. تدريج الوقت الذي يــساوي صفر في الشكل (٩ أ /١) نرى أنه يحدث ثمانية أيام قبل (P).

الثوابت n, m و Qn يمكن تعيينهم كالآتي:

يتم التعبير عن المعادلة السابقة في الشكل اللوغاريتمي

$$Log_e Q = Log_e Q_o - md^n Log$$

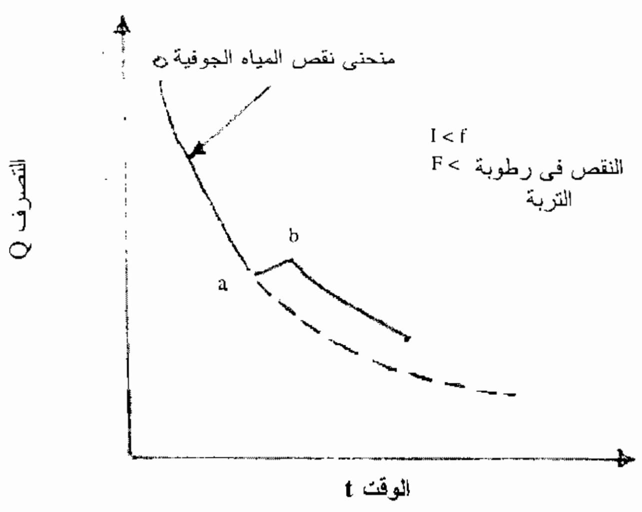
تلك المعادلة تمثل خط مستقيم يبين التغير لقيمة ($Log_e Q$) مقابل (d^n).

نحن نرى الآن أنه توجد ثلاث مجهولات (unknowns) يلزم حلهم بينمــا توجــد معادلة واحدة فقط. حل المسألة يتم الحصول عليه بالرسم البياني. من البيان المعطــى الملاحظ يتم توقيع (Q) مقابل (d^n) على مخطط شبه لوغاريتمي باستخدام محاولة قــيم إلى (n). مقدار (n) الذي يعطي خط مستقيم على الورق الشبه لوغاريتمي [(Q) علــى المقياس الكبير و (d^n) على المقياس الرياضي Arithmatic] تثبت مقدار (n). الــشكل

(٧ – ب) يبين أن المعادلة الأخيرة تلك تصبح خط مستقيم عندما تكون n = ٠,٤. الآن يتم امتداد هذا الخط إلى أعلى لمقابلة المحور Y أي محور التصرف. النقطة حيث الخط الممتد يقابل سوف تعطي القيمة (Q_o). يجب الإشارة إلى أن (Q_o) هي قيمة (D) عندما تكون d = صفر. الميل لهذا الخط المستقيم يثبت قيمة ($mLog_e$) وبالتالي يتم تعيين (m).

<u>الحالة رقم (٢):</u>

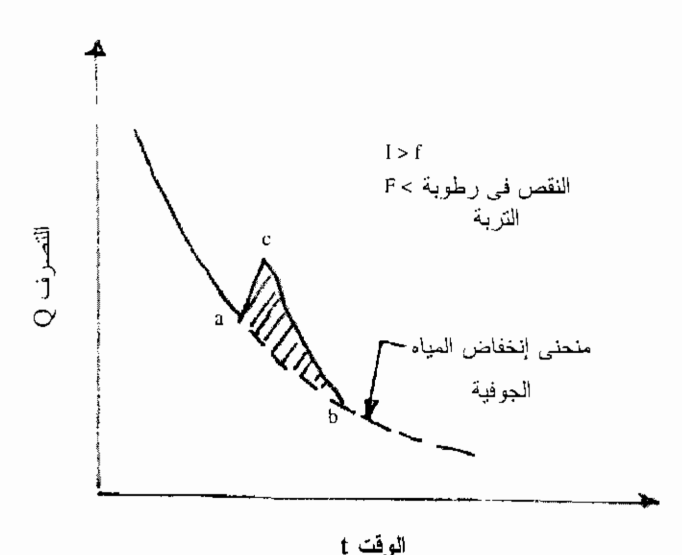
شدة سقوط الأمطار (I) هي كذلك أقل من طاقة الرشح ولكن إجمالي الرشح (F) أكبر من النقص في رطوبة التربة. في هذه الحالة سوف لا يكون هناك إنسياب سطحي ولكن يوجد تراكم (Accretion) للمياه الجوفية. المنحنى الذي يمثل الاستنفاذ (Depletion) للمياه الجوفية في هذه الحالة يتم توضيحه في الشكل (٨). الاستنفاذ يحدث خلال الفترة (a b)، مع الاستنفاذ لكونه أقل من المعدل الطبيعي لمنحنى نقص المياه الجوفية. يمكن القول أن سقوط الأمطار الساقطة مباشرة على المجاري المائية قد تم تناوله في التحليل السابق.



شكل (١/٨) مخطط مائى للمجرى بدون نقص فى رطوبة التربة حالة II

الحالة رقم (٣):

شدة سقوط الأمطار (I) أكبر من طاقة الرشح، ولكن إجمالي الرشح (F) يكـــون أقل من النقص في رطوبة التربـــة (SMD-Soil Moisture Deficiency) هـــذه يحـــدث التدفق السطحي ولكن لا يوجد تراكم للمياه الجوفية وبالتالي لا يوجد تغير فـــي تـــدفق المياه الجوفية الشكل (٩). التدفق السطحي يتم تمثيله بالخط (ac)، ومنحنـــى الـــنقص الطبيعي سوف يستمر خلال الارتفاع. بعد توقف سقوط الأمطار فإن مساهمة التـــدفق السطحي نحو تدفق المجرى سوف يستمر في النقص ثم التوقف كلية عند تمام صرف كل المياه من مستجمع الأمطار. يمثل هذا بالخط (cb). يمكن التوقع لسلوك نمـــوذجي كما سبق مناقشته بسبب العاصفة الرعدية (Thunderstorm) ذات القوة العالية.

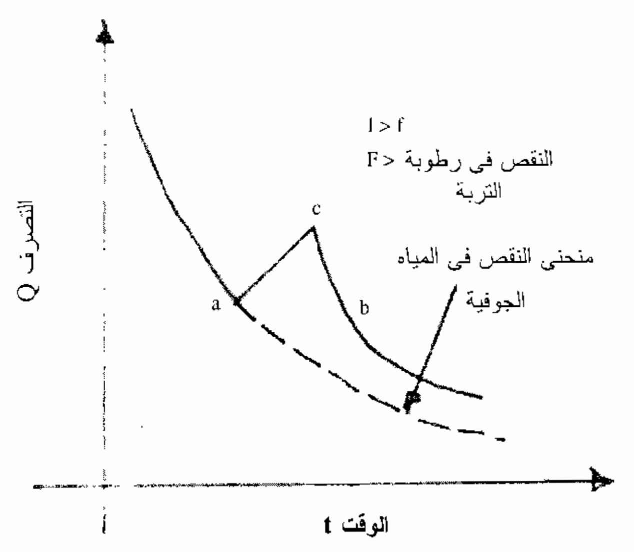


شكل (١/٩) مخطط مائى للمجرى مع النقص فى رطوبة التربة حالة III

الحالة رقم (٤):

شدة سقوط الأمطار (I) أكبـــر مـــن طاقـــة الرشـــح (f) (Infiltration Capacity) وإجمالي الرشح (F) أكبر كذلك من النقص في رطوبة التربة (SMD). هنا سوف يكون هناك تدفق سطحي (Qs)، وكذلك تراكم مياه جوفية شـــكل (١/١٠). الرســـم البيـــاني

المائي (Hydrograph) للمجرى سيكون مشابهًا لذلك في الحالة رقـم (٣) بإسـتثناء أن نقطة النهاية (b) سوف ترتفع بمقدار يساوي تدفق التسرب نتيجة لتراكم المياه الجوفية.



شكل (١٠/١) مخطط للمجرى المائى مع النقص فى رطوبة التربة مع تراكم المياه الجوفية حالة (IV)

من الحالات الأربع التي سبق مناقشتها يتضح أن المخطط المائي يعكس صـافي التأثير لمجموع العوامل التي تحدد كمية ووقت توزيع التدفق خلال الفترة التالية مـن سقوط الأمطار. لذلك فإن الدراسة المدققة والتحليل للمخططات المائية يمكن أن يعطي معلومة جيدة وذات قيمة متعلقة بالخواص الطبيعية (بدون قياسهم مباشرة) لأحـواض الصرف التي تنتجهم.

<u>البيانات والمعطيات المائية: Hydrological Data</u>

البيانات المائية لازمة لكل هؤلاء المهتمين بإنشاء مشروعات المـوارد المائيـة المتعلقة بالإمداد بالمياه لمختلـف الاسـتخدامات، بنـاء السـدود، الطـرق، السـكك الحديدية...إلخ. أهمية البيانات تبرز من حقيقة أن في علم المياه متغيـرات كثيـرة ولا توجد مجموعة قوانين طبيعية يمكنها شرح مختلف العمليـات المائيـة. يمكـن البـدء

بالحقائق الملاحظة تاريخيًا، وتحليل وتفسير نتائج التحليل واستخدام ذلك في الوقائع المستقبلية. بهذا فإنه يمكن القول أن علم البيان لم يصل بعد إلى حالة العلم التام.

في كل يوم يتم تجميع بيانات مائية وبيانات أرصاد جوية ومثل هذه البيانات في الشكل المختصر يتم نشرها. ولكن في حالة الحاجة إلى حل مشكلة عملية معينة، فإن تلك البيانات ليس من السهل وجودها. لذلك فإنه يلزم معرفة بعض مصادر بيانات المناخ والبيانات المائية وكذلك توضيح كيف يمكن إنتاج تلك البيانات خلال المحاكاة والنمذجة.

معظم البيانات المطلوبة أحيانًا:

طبقا لمنظمة الأرصاد العالمية فإنه يمكن تصنيف البيانات اللازمة غالبًا للدراسة المائية الخاصة بالأرصاد الجوية (Hydrometorological) يمكن تصنيفها كالآتي:

١- كمية الترسيب – السنوي، الشهري، العاصفة اليومية.

٢- بيان عن شدة الترسيب وتردده – للترددات المتغيرة من ٢٥٠ عام والاستمرار من ٥ دقائق إلى ٧٢ ساعة.

٣- تغير الترسيب من عام إلى آخر.

٤- حجم التدفق السطحي السنوي – الشهرى وذروة الفيضان.

٥- البخر والنتح –الحقيقي والسنوي

٦- البخر من سطح الماء – السنوي والشهري

٧- التغيرات فى التبخر السنوى للماء الحر.

٨- ضغط البخار لنقطة الندى – المتوسط، السنوي، الشهري.

٩- الماء القابل للترسيب في الجو – المتوسط، السنوي، الشهري.

١٠- درجات حرارة سطح الماء – المتوسط، الشهري.

١١- الإشعاع قصير الموجه – إجمالي القادم على السطح الأفقي الذي يمكن أن يكون متوسط، سنوي، شهري.

١٢- صافي ميزان الإشعاع عند سطح الأرض.

١٣- رطوبة التربة والنقص في رطوبة التربة.

كذلك تلزم البيانات الآتية:

أ - خرائط طبوغرافية، خرائط جيولوجية للتربة.

ب- بيان عن المياه الجوفية.

جـ- بيان عن نوعية الإمداد المتاح.

من الخرائط الطبوغرافية، والجيولوجية يمكن الحصول على معلومات متعلقة بتدفق المجرى والمياه الجوفية، مساحة الحوض، طول قناة المجرى وكثافة المجرى، إطار الصرف ...إلخ.

المتطلبات الأساسية للبيانات:

توجد أربع متطلبات أساسية يجب تحقيقها بواسطة البيانات قبل أن يتم تحليلها لأى دراسة هندسية أو مائية. وهذه هي:

١- سلسلة البيانات يجب أن ترتبط بالمشكلة المطلوب تحليلها، أي يجب أن تكون ذات علاقة.

٢- يجب أن تغطى البيانات فترة زمنية كافية لتكون ممثلة للواقع ويجب أن تكون قابلة للتحليل بالأدوات الحديثة مثل الإحصائية والمحاكاة بالحاسب وتحليل الاحتمالات. كما يجب أن تغطي فترة زمنية لا تقل عن ٢٠ عاما لإمكان التنبؤ بالسلوك مع أقل خطأ.

٣- يجب أن تكون البيانات دقيقة.

٤- يجب أن تكون دقيقة في مجال التجانس الداخلي اي عوامل مثل استخدام الأرض والتغيرات الأخرى بفعل الإنسان في مساحة المستجمع.

الفصل الثانى

التحليل الهيدروليجى لبيانات الترسيب

Hydrological Analysis of Precipitation Data

قبل مناقشة التجريد أو المستخلصات (Abstractions) من الترسيب. مثل. الرشح (Infilteration)، البخر، والنتح بتفصيل أكبر في الفصول التالية فإننا سوف نبدأ بمناقشة عملية الترسيب نفسها بالتفصيل. حيث سيتم تناول كيفية حدوث الترسيب، وقياسه ونظام تجميع البيانات وتحليلها.

١- الترسيب وأشكاله:

المياه تتبخر من المسطحات المائية مثل الأنهار، البرك، البحار.. إلخ وكذلك من الأرض ومن النبات في شكل بخار الماء. بخار الماء هذا يتجمع في الجو ويكون سلوكه مثل الغاز. في ظروف الضغط ودرجة الحرارة العادية فإن بخار الماء يخضع لمختلف قوانين الغازات (أي قانون بويل وقانون شارل.. إلخ). مع استمرار التبخر تزداد كمية البخار الجوي. ولكن نظرًا لأن الفضاء (Space) يمكنه فقط الاحتفاظ بكمية معينة فقط من البخار في وجود سطح صلب أو سائل، فإنه يتم الوصول إلى مرحلة أي إضافة من البخار سوف تتكثف على الأسطح. البخار يمكن أن يتكثف في أشكال مختلفة، مثل الضباب والثلج والمطر.. إلخ. الماء الذي يتم تبخيره يعود ثانيا إلى سطح الأرض في أي من تلك الأشكال. هذا الماء الذي يعود إلى سطح الأرض في أشكال مختلفة مثل المطر، الثلج، البرد.. إلخ يعرف بالترسيب.

الجزء الكبير من الترسيب يحدث في شكل المطر؛ والجزء الصغير في شكل الثلوج وأشكال أخرى للترسيب مثل البرد، الضباب .. إلخ تكون صغيرة جدا وعموما يتم إهمالها في تصميم معظم الأشغال المائية، لذلك ليست ذات أهمية.

مصطلحات هامة ذات علاقة بالترسيب:

ضغط التشبع (Saturation pressure)

بخار الماء يوجد عمومًا في الجو. أحيانًا يكون بمفرده أو مخلوطًا مع غازات أخرى. الضغط الناتج بأي من تلك المكونات يعرف بالضغط الجزئي (Partial pressure) الضغط الناتج عن البخار الموجود في الهواء يعرف بضغط البخار. (Vapour pressure). وإذا كان الهواء تام التشبع بذلك البخار فإنه عندئذ بضغط بخار التشبع أو ضغط التشبع. (Saturation Vapour Pressure or Saturation Pressure) يقدر ضغط التشبع بالسنتيمتر زئبق ويتوقف مباشرة على درجة الحرارة. الفرق بين ضغط بخار التشبع وضغط البخار الحقيقي عند درجة حرارة ثابتة يعرف بنقص التشبع (Saturation Deficit). في حالة ثبات الضغط الجوي وانخفاض درجة الحرارة أي أن الهواء يتم تبريده عند ضغط جوي ثابت فإنه تجئ حالة عندما يصبح الهواء مشبعًا بنفس كمية البخار. درجة الحرارة هذه تعرف بنقطة الندى (Dew Point). في حالة استمرار التبريد، فإن البخار يتم تكثيفه على الأسطح الملاصقة. هذا التكثف يكون في شكل ندى (Dew) إذا كانت نقطة الندى تزيد عن صفر درجة مئوية، وسوف يكون فى شكل الجليد إذا كانت نقطة الندى أقل من صفر درجة مئوية.

الرطوبة والرطوبة النسبية (Humidity and Relative Humidity)

مصطلح الرطوبة يستخدم للحصول على معلومة حول كمية الرطوبة الموجودة في الهواء، كمية المحتوى من الرطوبة الموجودة في الهواء، عند التعبير عنها بالكتلة على وحدة الحجم تعرف بالرطوبة المطلقة (Absolute Humidity).

الرطوبة المطلقة عن درجة حرارة معينة = كتلة الرطوبة الموجودة في وحدة الحجم من الهواء عند درجة حرارة معينة.

الرطوبة النسبية: (Relative Humidity)

الرطوبة النسبية تعرف بأنها ضغط البخار الحقيقي إلى ضغط بخار التشبع عند نفس درجة الحرارة. لذلك، فإنها تعطي فكرة عن مدى تشبع الهواء.

$$\text{الرطوبة النسبية} = \frac{\text{ضغط البخار الحقيقي عند درجة حرارة معينة}}{\text{ضغط بخار التشبع عند نفس درجة الحرارة}}$$

أحيانًا، تعرف الرطوبة النسبية بأنها الكتلة على وحدة الحجم للبخار الحقيقي الموجود في الهواء، إلى ذلك الذي يمكن أن يحتويه عند نفس درجة الحرارة في حالة التشبع التام.

الرطوبة يمكن أن يتم قياسها أما بواسطة مقياس رطوبة الجو ذو البصيلتين المخضلة والجافة (Psychrometer) أو بواسطة جهاز قياس الرطوبة النسبية في الجو (Hygrometer). كذلك فإن الرطوبة المطلقة يمكن قياسها كذلك بالتمرير المباشر لحجم معين من الهواء خلال مادة تجفيف، التي تمتص الرطوبة من الهواء. زيادة الوزن لمادة التجفيف هذه مقسومًا على حجم الهواء المار. سوف يعطي الرطوبة المطلقة للهواء.

الرطوبة المطلقة (Absolute Humidity):

تقل بسرعة مع زيادة الارتفاع عن سطح الأرض. حوالي نصف إجمالي الرطوبة الموجودة في الغلاف الجوي تكون فقط خلال مسافة مقدارها واحد ميل من سطح الأرض. الرطوبة تقل مع الارتفاع، لأنه عند الارتفاعات العالية فإن تيارات الحمل الحراري المسئولة عن حمل بخار الماء في الهواء تقل كثيرًا.

أنواع الترسيب: (Types of precipitation)

رغم أن الرطوبة تكون موجودة باستمرار في الجو، ولكنها تتكثف فقط عند برودة الهواء، بحيث أن يصبح مشبعًا بنفس بخار الماء. الآلية العادية التي بها يتم تبريد الهواء ليسبب الترسيب هي الارتفاع لكتلة الهواء. توجد ثلاث طرق مختلفة التي ترتفع بها كتلة الهواء، بما يسبب التبريد والترسيب لبخار الماء الجوي وبالتالي الترسيب في شكل أمطار غالبًا أو أحيانًا في ظروف خاصة في شكل برد، ثلج.. إلخ. طبقًا للطريقة التي يتم بها تبريد الهواء بما يسبب الترسيب، فإنه يمكن أن يكون هناك ثلاثة أنواع من الترسيب وهي كالآتي:-

الترسيب الدوامي أو المنخفض الجوي أو الإعصار الحلزوني

(Cyclone Precipitation)

الترسيب الحلزوني يكون بسبب ارتفاع كتلة الهواء نتيجة الاختلاف في الضغط. في حالة حدوث ضغط منخفض في مساحة ما، فإن الهواء سوف يتدفق أفقيًا من المساحة المحيطة مسببًا ارتفاع الهواء في مساحة الضغط المنخفض. الترسيب الذي يحدث يسمى الترسيب الحلزوني غير الأمامي (Non Frontal). في حالة ارتفاع كتلة هواء فوق كتلة هواء أخرى فإن الترسيب يسمى الترسيب الحلزوني الأمامي (Frontal). الحدود بين كتلتي الهواء ذاتا الاختلاف في درجة الحرارة والكثافة (كتلة هواء ساخنة والأخرى باردة) تعرف بالسطح الأمامي(Front or frontal Surface). كتلة الهواء الضخمة الدوامية (Whirling) التي يكون الضغط الجوي في مركزها منخفضًا تعرف بالمنخفض الجوي أو الإعصار الحلزوني (Cyclone). الهواء الذي يندفع أفقيًا نحو المساحة ذات الضغط المنخفض يتغير إلى كتلة دوامية بسبب الحركة الدورانية للأرض حول محورها. هذا المنخفض الجوي (Cyclone) عبارة عن كتلة ضخمة من الهواء، ذات قطر يتراوح من ٨٠٠ – ١٦٠٠ كيلو متر وتتحرك بسرعة حوالي ٥٠ كيلومتر في الساعة. الجزء المركزى لذلك المنخفض الجوي حيث يكون الضغط منخفضًا، يعمل مثل المدخنة، التي يصعد خلالها الهواء، ويبرد وأخيرًا يتكثف، مسببًا الترسيب.

ترسيب المنخفض الجوي أو الإعصار الحلزوني يمكن أن يحدث في شكل رذاذ (Drizzle)، مطر متقطع، أو مطر مستقر. إذا كان الترسيب بسبب جهة أو واجهة باردة (Cold Front) فإنه يكون شديد جدًا ولفترة قصيرة بينما ذلك بسبب الجبهة الدافئة (Warm Front) يكون أكثر استمرارا، الاحتمال الثالث هو الجبهة المسدودة (Occluded Front). الجبهة المسدودة تحدث عندما تتجاوز أو تتخطى الجبهة الباردة الجبهة الساخنة.

إطار الترسيب هو تجميع بين توزيعات كل من الجبهة الباردة والساخنة. الجبهة الباردة هي تلك حيث الهواء الساخن يستبدل بالهواء الأبرد، بينما في الجبهة الساخنة تكون الحالة العكسية.

الترسيب بالحمل الحراري (Convective Precipitation)

الترسيب بالحمل الحراري يرجع إلى تحرك الهواء الأكثر دفئًا عن ما يحيطه إلى أعلا عمومًا. هذا النوع من الترسيب يحدث في المنطقة الحارة بين المدارين (Tropics)، حيث في اليوم الحار، فإن سطح الأرض تكون سخونته غير متساوية، بما يسبب ارتفاع الهواء الأكثر سخونة، والهواء البارد يأتي ليحل محله. التيارات العمودية للهواء تحدث سرعات شديدة وتسبب خطورة للطائرات. الترسيب يحدث في شكل رذاذ شديد جدًا ولمدة قصيرة.

الترسيب الجبلي (Orographic Precipitation)

الترسيب الجبلي هو أهم ترسيب، فهو المسئول عن معظم الأمطار الكثيفة في المناطق الجبلية. الترسيب الجبلي يكون بسبب الكتل الهوائية التي تصطدم مع بعض الحواجز الطبوغرافية الطبيعية مثل الجبال والمرتفعات ولا تستطيع التحرك إلى الأمام لذلك فإنها ترتفع مسببة التكثيف والترسيب. أكبر كمية ترسيب تسقط على الجانب المقابل للريح (Windward Side)، الجهة التي تهب نحوها الريح، أي متصرف الرياح (Leeward Side)، غالبًا له ترسيب قليل. الحواجز الجبلية تميل إلى زيادة كل من الترسيبات الدوامية والترسيبات الجبلية بسبب زيادة الارتفاع.

سقوط المطر سيكون من الرذاذ وسقوط المطر المستقر. مثال لذلك النوع من الموانع الطبيعية هو الميل الجنوبي لجبال الهيمالايا، حيث الرياح المثقلة بالرطوبة من خليج البنغال تصطدم بالميل الجنوبي للهيمالايا مسببة أمطار غزيرة، حيث يصل المتوسط السنوي لسقوط الأمطار إلى ١٢٧٠سم.

كذلك فإن الرياح القادمة من المحيط الباسيفيكي تصطدم مع الميول الغربية لسلسلة الجبال الساحلية في واشنجتن مسببة الأمطار الغزيرة.

تكوين نقاط المطر: (Formation of Raindrops)

التكثيف يكون بسبب برودة الهواء، ولكن التكثيف ليس بالضرورة مسببا للترسيب في الحقيقة، التكثيف يكون ما يعرف بالسحب أو الضباب (Clouds or Fog) . السحاب عمومًا يتكون من جسيمات من الثلج ونقاط صغيرة من الماء، ذات قطر حوالي ٤٠

ميكرون، بارد إلى أقل من درجة حرارة التجمد. لمثل درجة الحرارة هذه يكون ضغط البخار المشبع أقل على سطح الثلج عنه على سطح الماء. الهواء في السحاب سوف يكون له ضغط بخار ما بين ضغطين التشبع تلك إلى حد ما، وبذا فإن نقاط الماء سوف تتبخر، ويحدث التكثيف على جسيمات الثلج. لذلك تتكون النقاط الكبيرة والتي تبدأ في السقوط. أثناء الرحلة إلى أسفل هذه، فإنها تتصادم وتتجمع معا لزيادة حجمها ثانيًا حتى ٤٠٠ – ٥٠٠ ميكرون، الذي هو الحجم العادي لنقاط المطر.

قياس سقوط الأمطار (Measurement of Rainfall)

بهدف تقدير تأثير الترسيب، فإنه يكون من الضروري قياس الترسيب وإيجاد توزيعه في أماكن مختلفة على الأرض.

كل أشكال الترسيب يتم قياسها بالعمق الرأسي للمياه التي سوف تتراكم على سطح مستوى إذا كان كل الترسيب قد استمر حيث سقط. إجمالي كمية الترسيب الساقطة على الأرض في فترة معينة يتم التعبير عنها بالعمق الذي يتراكم على المستوى الأفقي لسطح الأرض، وذلك في حالة عدم وجود فقد بالتبخير أو الانسياب السطحي، وأن كل جزء من الترسيبات الساقطة مثل الثلج أو البرد قد انصهر وتحول إلى الماء. أجزاء الترسيب الهامة (هما المطر والثلج) يتم قياسهم كل على حدة بأجهزة قياس تسمى (Gauges). نظرا لأن كمية الترسيب تتغير من مكان إلى آخر، لذلك فإنه يكون من الضروري إقامة تجهيزات قياس عند نقط حاكمة مختلفة. أبسط طريقة لقياس الترسيب هي بوضع أجهزة قياس ذات فتحة دائرية أفقية معلومة المساحة وجمع وقياس الترسيب المتجمع فيها عند فترات منتظمة. يفترض أن تلك الكمية من المطر الساقط المتجمع في جهاز القياس تمثل مساحة معينة حول النقطة التي تم عندها القياس.

أنواع أجهزة قياس المطر:(Types of Rain Gauges)

أي وعاء مكشوف ذو أجناب عمودية يمكن أن يستخدم كمقياس لسقوط الأمطار. تلك الأوعية المستخدمة في القياس تسمى (Rain Gauges). يوجد نوعين من أجهزة قياس المطر المستخدمين عادة وهما النوع المسجل والنوع بدون تسجيل.

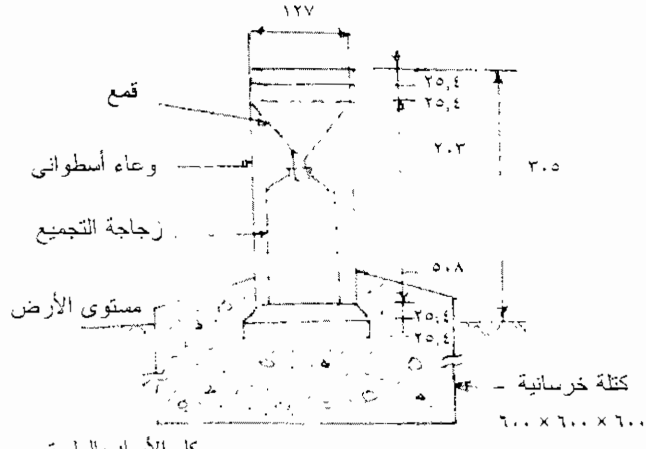
أجهزة قياس المطر بدون تسجيل: (Non Recording Rain Gauges

وهذه الأجهزة تقوم فقط بجمع المطر، ثم يتم قياس ما تم تجميعه بواسطة اسطوانات مدرجة، بما يمكن من تحديد حجم المطر الساقط بالسنتيمتر لعمق المياه أي:

$$\text{عمق المطر الساقط بالسنتيمترات} = \frac{\text{حجم المياه التي تم جمعها بالسنتيمتر المكعب}}{\text{مساحة قيمة قياس القياس بالسنتيمتر المربع}}$$

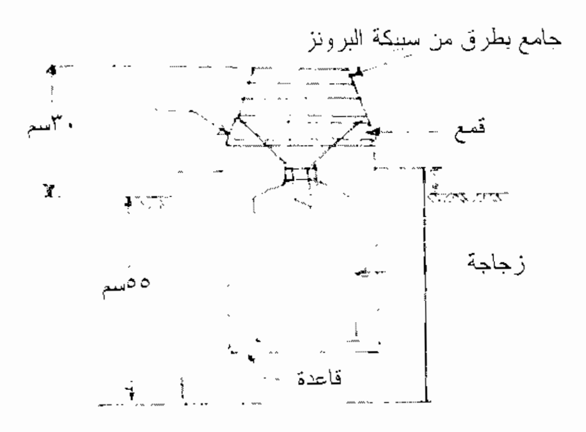
أجهزة قياس في أبسط أشكالها عبارة عن اسطوانات مجوفة مفتوحة عند أحد طرفيها، ولها ثلاث مكونات وهم المجمع (Collector) أو المستقبل (Receiver)، والقمع (Funnel) وأنبوب القياس (Measuring Tube)، المجمع يكون عميقاً وطرفه يكون حاداً. ولخفض التناثر لنقاط المطر، لتوجيه الماء نحو أنبوب القياس يتم توفير قمع بزاوية ٤٥ درجة. المستقبل يكون موجوداً في وعاء الطفح (Over Flow Can) لخفض الفقد بالبخر بسبب الإشعاع. الأقماع تعيق انسياب البخار وبالتالي خفض البخر.

أجهزة قياس المطر بدون تسجيل يجب أن تتم قراءتها بواسطة المراقب المعين الذي يأخذ القراءة كل يوم. في بعض الحالات تتم ملاحظة وتسجيل وقت البداية والنهاية للمطر لعاصفة واحدة. في حالة التغطية المحدودة لجهاز قياس المطر فإنه يقبل قياس المطر من أنواع مختلفة من الأوعية مثل الصفائح، الطاسات.. الخ. جهاز المقياس بدون تسجيل المستخدم عادة هو جهاز المعروف باسم (Simon Gauge) شكل (٢/١).



شكل (٢/١) مقياس سيمون بدون تسجيل

ولقد حدث تطوير لذلك الجهاز ويوجد أربعة أنواع من هذا التطـــوير كمـــا فـــي الشكل (٢/٢) جدول (١).



شكل (٢/٢) مقياس المطر القياسى

طاقات القياس العادية ومجموعها:

طاقة القياس القياسية سقوط المطر بالمليمتر	حجم الجامع سم	القاعدة	طاقة قاعدة بولي يثن (باللتر)
١٠٠	٢٠٠	صغيرة	٢
٢٠٠	٢٠٠	صغيرة	٤
٤٠٠	١٠٠	صغيرة	٤
١٠٠٠	١٠٠	كبيرة	١٠

أجهزة قياس وتسجيل المطر تعمل آلياً حيث يتم التسجيل المستمر لسقوط المطـــر بالنسبة للوقت في شكل مخطط. أجهزة التسجيل ضرورية لتعيين مقادير الترسيب في الفترات الزمنية القصيرة، حيث المعلومات تكون واجبة عند تحليـــل لـــسقوط أمطـــار العاصفة.

أجهزة قياس وتسجيل المطر من ثلاثة أنواع وهي:

١- القادوس القلاب (Tipping Bucket).

٢- جهاز القياس بالوزن (Weighing Gauge)

٣- جهاز قياس المطر الطافي (Floating Gauge)

١- في حالة القادوس القلاب

يتم احتجاز مياه المطر في المستقبل (الجامع) ثم يتم مروره خلال القمع إلى القواديس المتزنة (Balanced Buckets) والتي تتقلب إلى الخلف وإلى الأمام مع امتلائها بالمطر. ٠,٢٥ ملليمتر أو ٠,٠١ بوصة من سقوط المطر سوف يملأ غرفة واحدة وقلب الاتزان بحيث أنه ينقلب ويفرغ نفسه في المستقبل، ويحرك الغرفة الثانية إلى مكان أسفل القمع شكل (٢/٣).

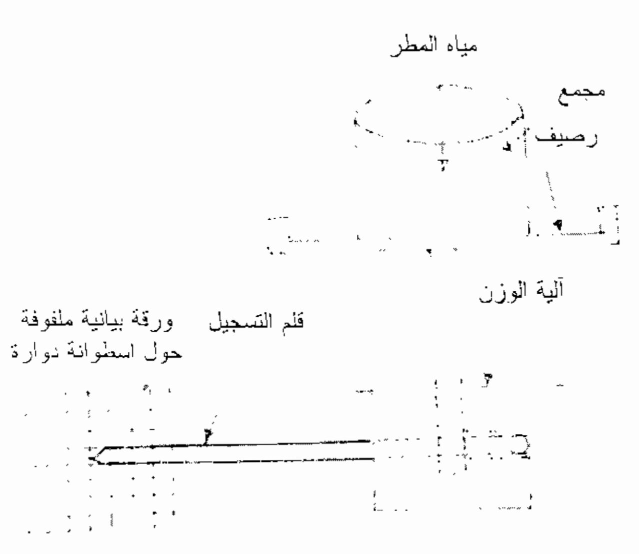


شكل (٢/٣) توضيح آلية التسجيل للقادوس القلاب لقياس وتسجيل المطر

يتم تشغيل دائرة كهربية عندما ينقلب القادوس. هذا يسبب تحريك القلم الذي يقوم بوضع علامة على المسجل. إذا كان انقلاب القادوس مصممًا لحدة معنية، فبسبب القصور الذاتي (Inertia) فإن القواديس سوف تتقلب إما في الحال أو متأخرًا جدًا لحالات حدة أخرى. ثانيًا، إذا كانت حدة سقوط المطر عالية جدًا، فإن القواديس سوف تميل سريعًا بحيث أن الاهتزاز في المسجل يميل إلى التطابق ويجعل القراءة الصحيحة شديدة الصعوبة وأحيانًا مستحيلة. مثل تلك أجهزة القياس تحتاج إلى خدمة صيانة بسيطة (Servicing) من آن إلى آخر بدون استخدام نظم تسخين فإن مثل تلك الأجهزة لا يمكن استخدامها لقياس سقوط الثلج (Snow fall).

٢- أجهزة القياس بالوزن:

في أجهزة القياس بالوزن فإن المستقبل يستقر على تدريج الوزن بنوع من الزنبرك شكل (٢/٤). الزنبرك ينضغط مع تراكم الترسيب في المستقبل، بسبب هذا فإن القلم يعمل والذي يرسم مخطط في شكل مخطط الكتلة شكل (٢/٤). ميل المنحنى بالنسبة للمحور الأفقي يعطي حدة سقوط الأمطار. لذلك، فإنه في نوع جهاز القياس هذا، يمكن تعيين فترة سقوط المطر، وإجمالي المطر الساقط وحدته في نفس الوقت. هذا النوع من القياس مناسب لقياس كلاً من سقوط المطر والثلج. ويعتقد أنه يعطي نتائج أفضل مقارنة بجهاز القادوس القلاب وحاليًا يستخدم كثيرًا.



شكل (٢/٤) يوضح آلية التسجيل لمقياس المطر والتسجيل بالوزن

في حالة جهاز قياس المطر الصافي شكل (٥ أ / ٢) يتم وضع العوامة في المستقبل في معظم الحالات. ارتفاع العوامة مع زيادة إمساك المطر الساقط يتم تتبعه بواسطة قلم على مخطط بياني. التسجيل الناتج بهذه الطريقة يكون كذلك في شكل مخطط كتلة كما في الشكل (٥ب/٢). توجد فرص تلف للعوامة في حالة تجمد المطر الساقط. هذا المقياس الطافي يعمل مثل مسجل مرحلة الماء الطافي. يتم توفير تجهيز سيفون لتفريغ غرفة العوامة بسرعة بمجرد امتلاء الغرفة، بذلك

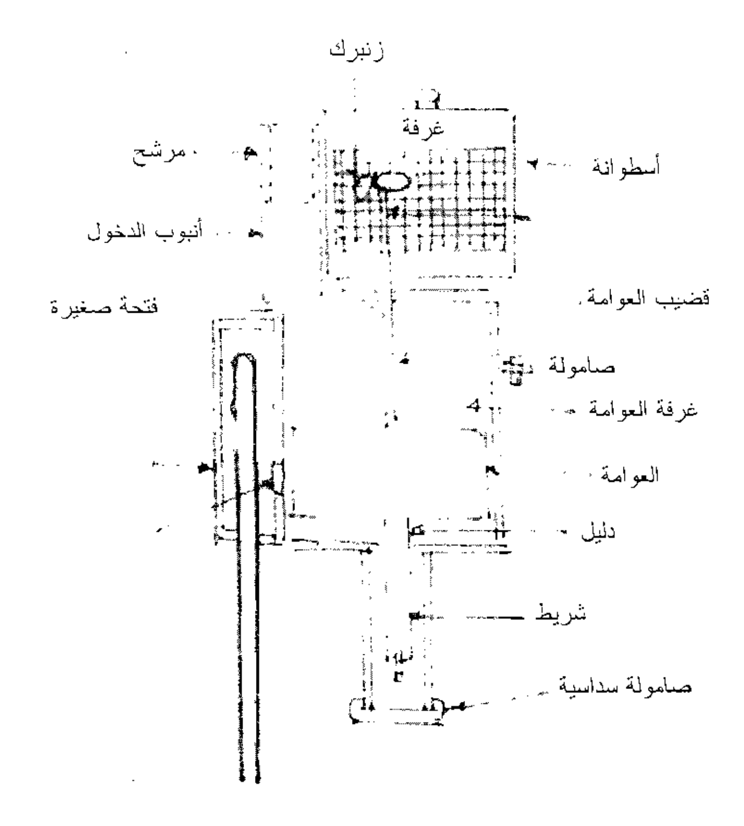
نتجنب الحاجة إلى توفير غرفة كبيرة. مقياس التسجيل من نوع الطفو يسمى كذلك مقياس المطر بالسيفون (Syphon Rain Gauge). قد يكون من نوع التفريغ الذاتي.

مميزات جهاز القياس والتسجيل هي:

- إمكانية الحصول على بيانات في المناطق التي يصعب الوصول إليها.
- عدم وجود خطأ.
- إمكانياتها كبيرة.

العيوب:

- التكلفة العالية.
- عدم انتظام التسجيل بسبب خطأ كهربي أو ميكانيكي.



شكل (٥ أ/٢) مقياس تسجيل المطر بالطفو

القياس الراداري للترسيب: Radar Measurement of Precipitation

بمساعدة الرادار يمكن قياس سقوط الأمطار بنطاق دقة ١٠% من الكمية المسجلة بواسطة مقياس المطر. في المناطق البعيدة، حيث يصعب إقامة أجهزة قياس المطـر، يمكن الحصول على التسجيل المستمر للمطر من الرادار. الموجات الكهرومغناطيسية عالية التردد التي ترسل بواسطة الرادارات تسير بسرعة الضوء. جزء صغير من هذه الطاقة ينعكس بواسطة الأغراض التى في السماء ويتم كشفه بالرادار. بالمعايرة الصحيحة لسقوط الأمطار وشدة الصدى فإنه يصبح ممكناً قياس شدة سقوط المطر. ولكن هذا النظام الراداري مكلف جدًا.

قياس سقوط المطر بالقمر الصناعي: Satellite Measurement of Rain Fall

زاد استخدام الأقمار الصناعية في مجال الأرصاد الجوية لدراسة المناخ. المبدأ المعروف أن انتقائية الغلاف الجوي (Atmoshperic Selectivity) تنقل الإشعاع عند مختلف أطوال الموجات. أجهزة الإحساس بالقمر الصناعي تستفيد بهذا المبدأ. أطوال الموجة المرئية هو ما بين ٠,٧٧ إلى ٠,٩١ ميكرومتر وأطوال الموجة الحرارية تحت الحمراء هو في المجال من ٨ إلى ٩,٢، ١٠,٢ إلى ١٢,٤ و ١٧ إلى ٢٢. معظم الأقمار الصناعية تتوقف على كشف الإشعاع في أطوال الموجة المرئية والحرارية تحت الحمراء من الإشعاع الذي يتم استقباله، يتم إنتاج صور بواسطة الأقمار الصناعية. تلك الصور يتم إعدادها بأشكال مختلفة بواسطة الأقمار الصناعية.

الأخطاء في قياسات الترسيب: Errors In Precipitation Measurements

أي إعاقة توضع في تدفق الماء (الهواء) سوف تسبب اضطراب (Turblence) لذلك، فإن أجهزة قياس المطر، تنتج اضطراب في تدفق الهواء في المكان الذي توضع فيه حيث يوجد خفض في اقتناص المطر الساقط. بالمثل، فإن الاضطراب الناتج من البنية المجاورة مثل الأشجار، المباني.. إلخ سوف تؤثر على التلقي. الاضطراب هو دلالة مباشرة لقوة الرياح والمساحة. نظرًا لأن سرعة الرياح تزداد مع الارتفاع فوق الأرض فإنه يكون الأفضل وجود قمة المستقبل منخفضة ما أمكن ذلك. يتم وضع أجهزة القياس بعيدًا عن الأشجار، المباني.. إلخ بما لا يقل عن أربع أضعاف ارتفاعها. أحيانا يستخدم حاجز للرياح لخفض تأثير اضطراب الريح.

الفقد بسبب التبخير قد يسبب أخطاء كبيرة في حالة تعرض أجهزة القياس إلى الهواء الحر لفترة زمنية طويلة. يمكن استخدام الزيت لخفض الفقد بالتبخير. الأخطاء في القراءة للتدريج على مقياس التدريج تكون عشوائية. عند وضع عصا القياس في أنبوب القياس، فإنها تزيد القراءة بمقدار ١% إذا كان الجهاز مائلاً بنسبة ١٠% وأن المطر يسقط عموديًا، فإن الفقد في الحجز يكون بنسبة ١,٥%.

عدم دقة القياسات لمعدلات سقوط الأمطار قد تكون نتيجة مشاكل الاحتكاك في آلية الوزن لجهاز القياس بالوزن وفي دليل الطفو في أجهزة القياس بالطفو.

بيان الترسيب:(Precipitation Data)

لأغراض التصميم والتشغيل لمشروعات الموارد المائية، مثل المفيض في السد، أشغال الحماية من الفيضان، المعلومات نحو أقصى تدفقات في المجرى تكون أساسية. معظم الوقت مثل هذه المعلومات ليست متاحة أو تكون نادرة. ولكن تسجيل الترسيب لفترة طويلة من الوقت يكون عادة متاحًا في الأماكن القريبة من موقع المشروع. دراسة بيان سقوط الأمطار ومطابقته مع بيان التدفق السطحي يكون مجديًا ويمكن أن يساعد في امتداد تسجيلات التدفق السطحي.

التغير في الترسيب (Variation In Precipitation)

التبخر من المسطحات المائية الضخمة يشكل المصدر الرئيسي للرطوبة لأجل الترسيب. الترسيب يميل إلى أن يكون شديدًا قريبًا من السواحل. كذلك فإن اتجاه الريح السائد من البحر يؤثر على الترسيب، متوسط سقوط المطر السنوي يكون أعلى قرب الشاطئ. عمومًا يقل الترسيب نحو الداخل. ولكن في حالة أن الريح السائد يكون من الأرض نحو البحر، فإن المتوسط السنوي لسقوط المطر لن يكون شديدًا. نظرًا لأن متوسط درجة الحرارة السنوية يؤثر على التبخير وتحرك الريح، فإنه كذلك يؤثر على سقوط المطر. لقد وجد أن الترسيب يزداد عمومًا مع الزيادة في الارتفاع. كذلك يتغير الترسيب مع الوقت.

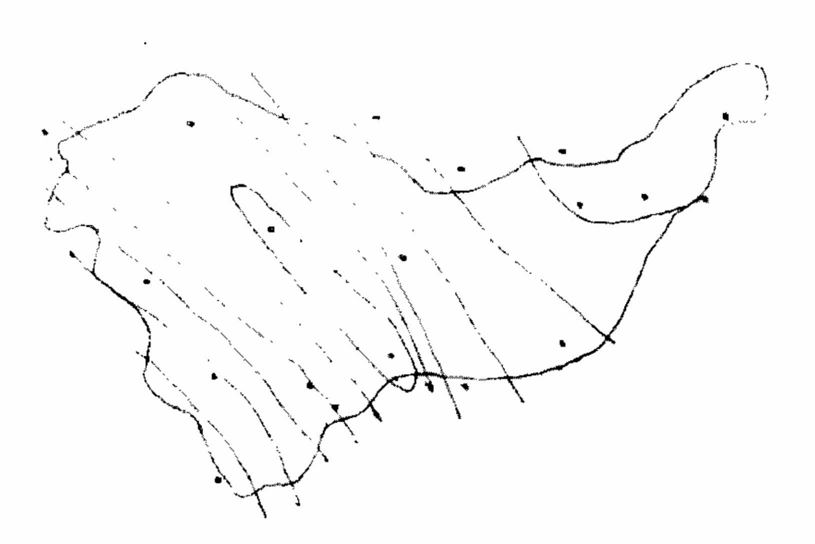
التغير في سقوط المطر السنوي Variation In the Annual Rain Fall

المتوسط الحقيقي لسقوط المطر لمدة طويلة لا يمكن تقديره عند توفر تسجيلات سقوط المطر المحدودة في المحطات. لقد قام Alexander Binnie بعمل دراسة عن تغير سقوط المطر من وقت إلى آخر ثم قام بعمل الملاحظات الآتية:

- التسجيل لمدة خمس سنوات يحتمل أن يكون بنسبة خطأ ١٥%.
- التسجيل لمدة عشر سنوات يحتمل أن يكون بمتوسط خطأ ٨,٢%
- التسجيل لمدة عشرين عامًا سيكون بنسبة خطأ ٣,٣ من القيمة الصحيحة وهكذا.
- التسجيل لمدة ٣٠ – ٤٠ سنة كانت نسبة الخطأ ٢% التي تعتبر جيدة للأغراض الهندسية.

خطوط تساوي المطر (Isohytes)

الخطوط الموصلة للنقط ذات الترسيب المتساوي تساوي نقط تساوي المطر. نموذج لخريطة خطوط تساوي المطر لمدة سقوط ٢ ساعة عند عدة محطات قياس المطر الناتج من عاصفة رعدية بسيطة موضح في الشكل (٢/٦).



شكل (٢/٦) نموذج لخريطة خطوط تساوى المطر

شبكة قياس الترسيبات :Precipitation Gauge Network

خصائص الترسيب، مثل حدة الترسيب، فترة الاستمرار.. إلخ تتغير طبقًا للعاصفة، الطبوغرافيا والمناخ العام. للحصول على معلومات كاملة عن خصائص الترسيب فوق مساحات معينة، فإنه يلزم توفير شبكة قياس الترسيب. حجم الشبكة يتوقف على اعتبارات اقتصادية والغرض من الملاحظة وعوامل أخرى. لقد أوصت المواصفات بأن أدنى شبكة لشدة الترسيبات لأغراض الرصد الجوي المائية هي كالآتي:

١- محطة واحدة لكل ٥٢٠ كيلومتر مربع – في السهول المنبسطة.

٢- محطة واحدة لكل ٢٦٠ – ٣٦٠ كيلومتر مربع في المناطق ذات الارتفاع المتوسط.

٣- محطة واحدة لكل ١٣٠ كيلومتر مربع – في مناطق حيث تسود التلال وسقوط الأمطار الكثيف.

الفصل الثالث

استخلاص المياه

Water Abstractions

١- مقدمة:

لتصميم أي مشروع تخزين فإنه يكون من الضروري توفير نوعين من المعلومات وهما:

(١) المياه اللازمة للاستخدام (٢) المياه المحتمل فقدها خلال البخر من أسطح المياه المعرضة، التسرب من الخزان (خلال جسم السد ومن قاعدة الخزان)، الفقد بالتسرب من قنوات الري المبطنة، وغير المبطنة، الفقد بالنتح من النباتات المستخدمة للمياه الجوفية التي تكون بإمكانها الوصول إلى جذور تلك النباتات والتي تسمى (Phreatophytes)، وكذلك الاستخدام غير الكفؤ للمياه. إجمالي متطلبات المياه للمشروع سوف تكون إجمالي المجموع (١)، (٢).

لتعيين أقصى فيضان يتوقع حدوثه بتردد معين فإنه يلزم اعتبار الخواص المائية للتدفق السطحي من الحوض بجانب معلومات متعلقة بطاقة الرشح وتغيرها. نظرًا لأن الفيضان يحدث خلال فترة قصيرة من الزمن، فإنه لا يتم الأخذ في الاعتبار للبخر، والنتح والمفقودات الأخرى.

مشكلة أخرى هامة تلك التي يحتاج إليها المهندس وهي تعيين متوسط الإنتاج الشهري، الموسمي، السنوي، طويل المدى المتوقع من أي حوض صرف. في هذه الحالة، فإنه يكون مطلوبًا توفير معلومات تفصيلية عن الفقد بسبب البخر، النتح، (Interception)..الخ.

لتعيين الفقد في المياه / الاستخلاص لأي جزء مروي لحوض الصرف، فإن المياه التي تستخدم للأرض يتم إضافتها إلى كمية الترسيب لتعيين مدخلات النظام.

الفقد (Interception)، مثل النتح، والبخر لأي مساحة مروية يتم جمعه معًا وعادة يسمى الاستخدام الاستهلاكي للماء (Consumptive Use of Water) الاستخدام الاستهلاكي قد يكون مرتبطًا بنمو نبات معين، فإنه عندئذ يسمى الاستخدام الاستهلاكي لذلك النبات، على الجانب الآخر قد يكون مرتبطًا بكل حوض الصرف عندما يسمى الاستخدام الاستهلاكي للوادي (Valley Consumptive Use). في حالة عدم وجود تسرب (Watershed) فإن الاستخدام الاستهلاكي للوادي يمكن أخذه بما يساوي إجمالي فقد المياه.

إنه عادة ليس عمليا فصل البخر والنتح حيث يتم دمجهم معا وذلك في حالة دراسة الميزان المائي لحوض صرف.

البخر من البحيرات، الخزانات، الخ، ومن كتلة التربة مع النتح من النباتات يسمى البخر والنتح (Evapotranspiration) أو إجمالي البخر والذي يقدر بالفقد.

البخر من أسطح المياه (Evaporation From Water Surfaces)

معدل البخر من سطح الماء يتوقف على الإشعاع الشمسي، درجة حرارة الهواء، درجة حرارة الماء، سرعة الريح، الضغط الجوي وضغط البخار للهواء العلوي. ملوحة الماء لها تأثير غير مباشر حيث تقلل من ضغط البخار. ضغط بخار مياه البحر أقل من ذلك للماء النقي عند نفس درجة الحرارة بحوالي ٢%. في حالة المسطحات المائية مثل الخزانات أو البحيرات، تحمل جزئيات بخار الماء بعيدًا عن سطح الماء بالتسرب الجزئي والرياح إلى الغلاف الجوي. هذا ينتج عنه حدوث تدرج بالمحتوى من بخار الماء الذي يقل مع زيادة المسافة من سطح الماء.

توجد عدة طرق لتعيين البخر من سطح الماء. كل من هذه الطرق يتضمن فرضيات وتبسيط للعملية الحقيقية. الطرق الشائعة لتقدير البخار من الخزانات والبحيرات هي:

١- قياس البخر من الوعاء المسطح (Pan Evaporimeter)

٢- طريقة الميزان المائي (Water Budget Method)

٣- طريقة ميزان الطاقة (Energy Budget Method)

٤- الطريقة المجمعة (Combination Method) والتي تجمع ميزان الطاقة وطريقة انتقال المادة / تأثير الديناميكا الهوائية – طريقة بنمان (Penman's Method).

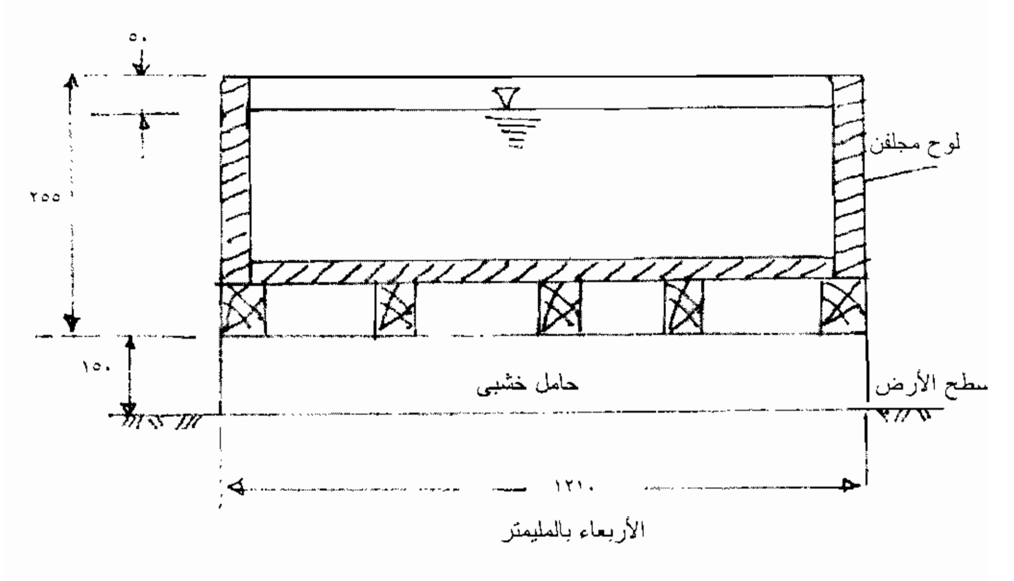
٥- المعادلة التجريبية (Emperical formula)

١ – مبخرات الوعاء المسطح:

لقد استخدمت مبخرات الوعاء المسطح في كل مكان لقياس التبخر من المسطحات المائية وسيتم شرح بعضًا منها

أ- الوعاء المسطح الأرضى: (Vs class A land pan)

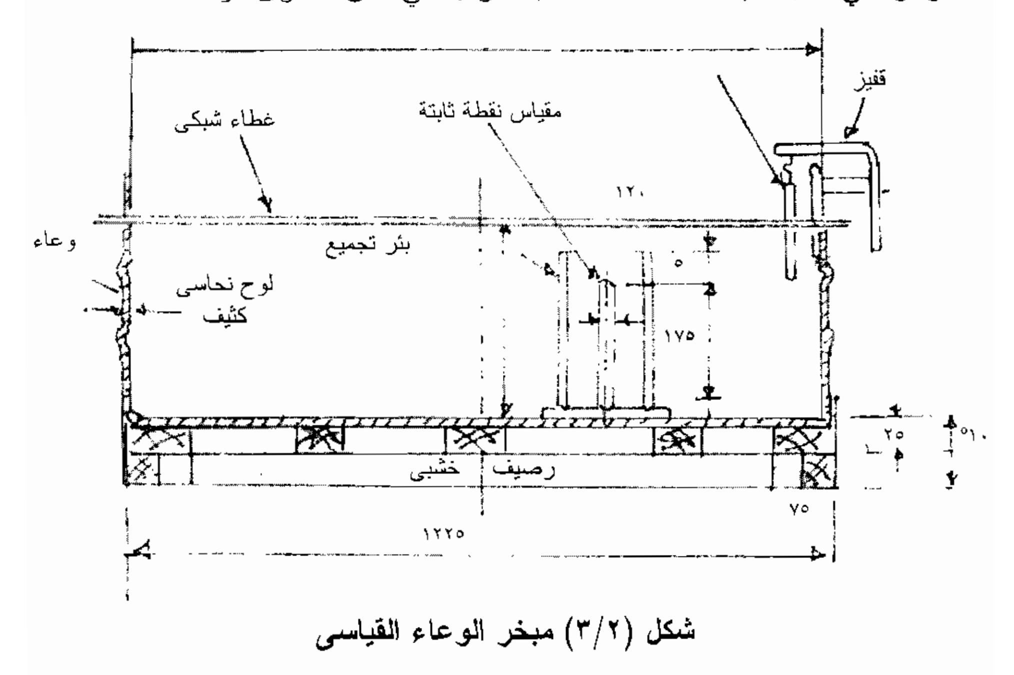
هذا الوعاء بقطر ١٢١٠ مليمتر وعمق ٢٢٥ مليمتر. ويستخدم على نطاق واسع في الدول النامية. يتم وضع الوعاء على قاعدة خشبية فوق الأرض للسماح بحرية دوران الهواء أسفل الوعاء. عمق الماء يظل ما بين ١٨ و ٢٠ سم الشكل (٣/١).



شكل (٣/١) مبخر الوعاء المسطح

ب- الوعاء القياسي (ISI (IMD) (Standard) Pan)

الوعاء القياسي شكل (٣/٢). هذا الوعاء بقطر ١٢٢٠ مليمتر، وعمق ٢٢٥ ملليمتر ويصنع من لوح من النحاس بسمك ٠,٩ ملليمتر والمغطى من الداخل بطبقة من القصدير، ومن الخارج بطلاء أبيض. يتم وضع الوعاء على قاعدة خشبية فوق الأرض بمقدار ١٠٠ ملليمتر بحيث ينعدم وجود دوران حر للهواء أسفل الوعاء. الوعاء مزود ببئر معايرة لتقدير احتياطي الماء (Stilling Well)، مقياس النقطة الثابتة وترمومتر. مقياس النقطة الثابتة (Fixed Point Gauge) يبين أن مستوى الماء يظل عند علامة ثابتة في الوعاء. القراءات تؤخذ مرتين في اليوم في الساعة ٨,٣ و ١٧,٣. مقياس سرعة الريح الكلية (Totalising Anemometer) عادة يركب عند مستوى الجهاز بحيث يمكن الحصول على معلومات عن سرعة الريح عند الحاجة. قمة الوعاء مغطاة بنسيج سداسي من أسلاك الحديد المجلفن لمنع سقوط الطيور في الوعاء. التبخير من الوعاء المغطى بشبكة من السلك لمقياس التبخر الجوي الطبيعي (Evaporimeters) وجد أنه أقل بنسبة ١٤% مقارنة بالوعاء غير المغطى بشبكة السلك. كذلك فإن شبكة السلك تجعل درجة حرارة الماء أكثر تجانسًا خلال النهار والليل. يتم الحصول على درجة حرارة الهواء بقراءة البصيلة الجافة للترمومتر الموجود في الشبكة (Stevenson screen) المركبة في نفس محتوى الوعاء.

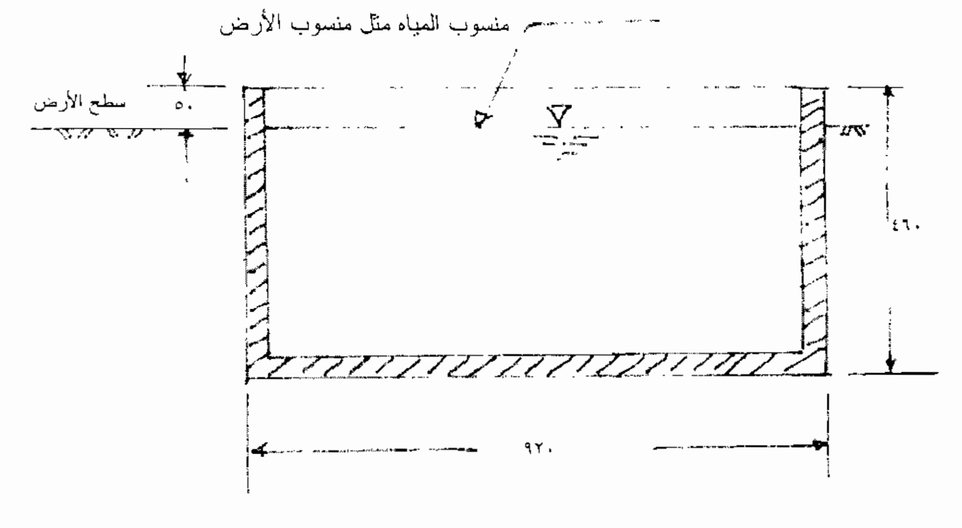


شكل (٣/٢) مبخر الوعاء القياسي

جـ- وعاء كلورادو :(Colorado Sun Ken Pan):

بهدف أن الإشعاع والديناميكا الهوائية يشبهوا في خواصهم لتلك ألمسطحات المائية المقام قريبًا منها مقياس التبخر الجوي فقد تم تصميم تجهيزه تسمى (Sun Ken Pan). ذلك الوعاء يكون مربع طول ضلعه ٩٢٠ ملليمتر، وبعمق ٤٢٠ إلى ٩٦٠ ملليمتر ويكون مغمورًا في الأرض بحيث أن يبرز عمق مقداره ٥٠ إلى ١٥٠ ملليمتر فوق الأرض شكل (٣/٣). منسوب المياه يظل غالبًا عند مستوى الأرض. هذا الوعاء له القليل من السلبيات هي:

- تسرب المياه يصعب اكتشافه.
- مكلف.
- من الصعب خلو المنطقة المحيطة من الغبار والمعوقات.



شكل (٣/٣) وعاء كلورادو

د – الوعاء الطافي: (Floating Pan).

في بعض الخزانات، يتم إنشاء أجهزة قياس البخار الطافية، تلك الأجهزة هي أساسًا أوعية درجة A (Class A Pans)، وهي مركبة على عوامة مسطحة بحيث أن القاع وجزء من الحوض يكونوا ملتصقين مع سطح البحيرة.

لقد وجد أن سرعة التبخير من الوعاء الأرضي أسرع من المسطح المائي الضخم مثل البحيرة أو الخزان لذلك، فإنه سيتم استخدام معامل لتحويل تبخير الوعاء الأرضي للحصول على تبخير البحيرة أو الخزان. هذا المعامل وجد أنه يتراوح ما بين ٠,٦ إلى ٠,٨٢ وبقيمة متوسطة ٠,٧ وهو الموصي باستخدامه عمومًا. في حالة استخدام وعاء (Sunken Pan) لتعيين التبخير عندئذ فإن هذا المعامل يكون ما بين ٠,٧٥ إلى ٠,٨٦ وفي المتوسط ٠,٧٨ ولذلك فإن وعاء (Sunken) يعطي قيم قريبة من الحقيقة. بالنسبة للوعاء المطور الدرجة (A) فإن هذا المعامل يمكن أن يكون ٠,٨ (في المجال من ٠,٦٥ – ١,١).

معادلة البخر (Evaporation formula)

يوجد عدد كبير من معادلات البخر. معظم هذه المعادلات مبني على قانون والتون وشكله العام هو:

$$E = C\,(V_{sa} - V_a)$$

حيث:

E = البخر ملليمتر في اليوم

V_{sa} = ضغط بخار التشبع عند درجة حرارة سطح الماء (T_s) بالملليمتر زئبق.

V_a = ضغط بخار الماء للهواء بالملليمتر زئبق.

تأثير كل العوامل المناخية الأخرى مثل الرياح، والضغط الجوي تم تجميعه في المعامل (C).

شبكة محطات البخر الموصي بها كما في الجدول التالي:

جدول (٣/١) شبكة محطات البخر الموصي بها

المنطقة	المنطقة التي تخدمها محطة واحدة (كيلو متر مربع).
جافة	٣٠٠٠٠
منطقة درجة حرارة رطبة	٥٠٠٠٠
منطقة باردة	١٠٠٠٠٠

طريقة الميزان المائي: Water Budget Method

إنه ليس من الممكن الحصول على قياسات مباشرة للبخر في الظروف الحقليـة. ولكن، التقدير غير المباشر له على أساس متوسط يومي يمكن الحصول عليه بمساعدة معادلة التخزين (Storage Equation).

$$E_{day} = I + P + \Delta S - O_g$$

حيث:

E_{day} = البخر اليومي

I = التدفق السطحي الداخل يوميًا

P = التدفق اليومي للترسيب السطحي الخارج.

O_g = التسرب اليومي تحت السطح

ΔS = التغير في التخزين في اليوم خلال فترة زمنية. أي، الفرق في التخزين S_1 عند بداية الفترة الزمنية للتخزين، التخزين S_2 عند نهاية الفترة.

وحدات كل المعايير في المعادلة السابقة تكون إما بـالمتر المكعـب أو بـالعمق بالمليمتر فوق مساحة الدليل، من المفترض أن كل المعايير باستثناء E يمكن قياسـها مباشرة.

تلك المعادلة نادرًا ما تعطي نتائج معتمدة ذلك لأن كل الأخطاء في قياس تغيـر التخزين، الترسيب، التدفق الداخل والتدفق الخارج تنعكس مباشرة في القيمة المحسوبة للبخر. إنه من الصعب جدًا عمل تقدير دقيق ومباشر لتسرب المياه الجوفية والذي يقدر بطريقة غير مباشرة من قياس المستويات الأرضية، معامل النفاذ.. إلخ. ولكن طريقـة الميزان المائي قد حققت نجاح في دراسات بحيرة (Hefner) في الولايات المتحدة عـام ١٩٥٠ – ٥١، بسبب استمرار التحكم الحذر في كل الظروف خلال الدراسة.

طريقة ميزان الطاقة (Energy Budget Method)

طريقة ميزان الطاقة شكل (٤) تستخدم فكرة الحفاظ على الطاقة الحرارية خلال الكتلة المائية. ميزان الطاقة لخزان أو بحيرة يمكن كتابته كالآتي:

$$Q_n - Q_h - Q_e = Q_s - Q_v - Q_g$$

حيث:

Q_n = إجمالي الإشعاع الممتص بالكتلة المائية (أو صافي الطاقة الحرارية التي استقبلت بواسطة سطح الماء).

Q_h = انتقال الحرارة المحسوسة بسبب التوصيل الحراري إلى الجو.

Q_e = الطاقة المستخدمة في التبخير.

$= PLE_I$

P = كثافة كتلة الماء

L = حرارة التبخير الكامنة

E_I = التبخير بالمليمتر

Q_s = الزيادة في الطاقة المخزنة في الكتلة المائية.

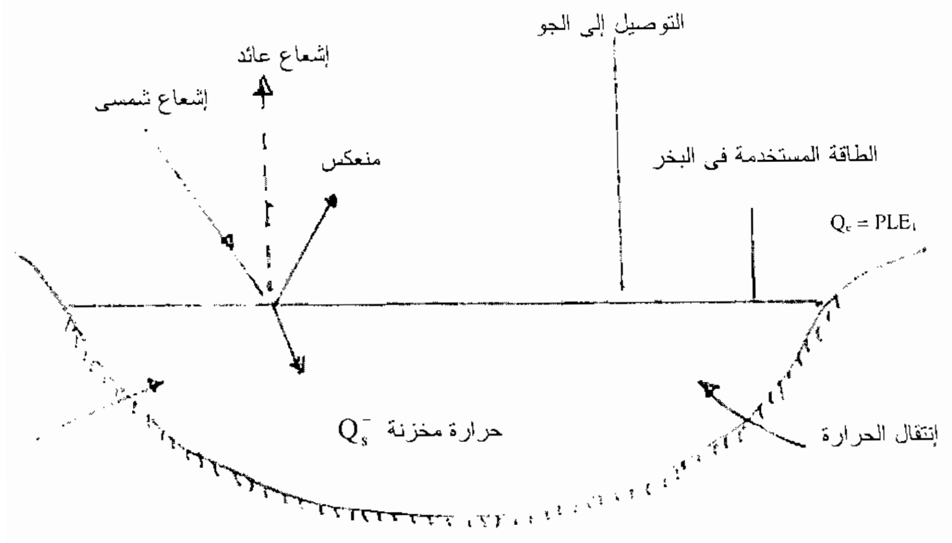
Q_v = الانتقال الأفقي للطاقة في كتلة المياه.

Q_g = هو تدفق الحرارة نحو الأرض.

كل الكميات السابق ذكرها يتم تقديرها بالكالوري / المليمتر المربع/ اليوم.

يلاحظ أن الطريقة تستخدم معادلة الاستمرارية (للطاقة) مثل الميزان المائي وتقدير التبخير كمتبقي لاستمرار الاتزان.

انتقال حرارة التوصيل إلى الجو (Q_h) لا يتم ملاحظتها بسرعة أو حسابها. لقد اقترح (Bowen) النسبة (R) كطريقة لإبعاد (Q_h) من معادلة ميزان الطاقة. هذه النسبة تكون طبقًا للمعادلة.



شكل (٣/٤) ميزان الطاقة فى الكتلة المائية

$$R = \frac{Q_h}{Q_e}$$

$$R = 6.1 \times 10^4 \quad \frac{T_w - T_a}{V_{sa} - V_a} \quad x \quad P_a$$

حيث:

P_a = الضغط الجوي بالمليمتر زئبق.

V_{sa} = ضغط بخار التشبع بالمليمتر زئبق.

T_{sa} = درجة حرارة سطح الماء (درجة مئوية)

T_a = درجة حرارة الهواء (درجة مئوية)

V_a = ضغط البخار الحقيقي بالمليمتر زئبق.

حيث أنه لا يمكن تقدير المصطلحات الكثيرة في معادلة ميزان الطاقة وخاصة طاقة الانتقال الأفقي لكتلة الماء وقياسات درجة الحرارة والذي يتطلب أجهزة مكلفة، فإن طريقة ميزان الطاقة ليست مستخدمة كثيرًا. ولكن وجد أنها تعطي نتائج مرضية عند التطبيق لفترات تقل عن أسبوع.

من المعادلات السابقة القيمة (E_I) وهي قيمة التبخير بالمليمتر يمكـن تقـديرها كالآتي:

$$E_I = \frac{Q_n + Q_e - Q_s + Q_v}{PL\,(1 + R)}$$

طريقة التجميع: Combination Method

هذه الطريقة تستخدم تأثيرات كلاً من الـديناميكا الهوائيـة (Aerodynamic) (أي الرياح والرطوبة) وكذلك الطاقة (Energy) (أي الإشعاع) في معادلات الاتزان لتعيين التبخير من سطح المياه المعرض.

في مجال الحصول على بيانات موثوق بها للبخر والنتح (Evapotranspiration). فقد استخدمت معادلة (Penman's formula) والمعدلة في الشكل الآتي:

$$Ep = W.\,Q_{nL} + (1 - w)\,f\,(v)\,(V_{sa} - V_a) \qquad (1)$$

حيث:

E_p = جهد البخر والنتح بالمليمتر في اليوم

W = عامل الوزن لتأثير الإشعاع = $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$

حيث:

Δ = معدل تغير ضغط البخار المشبع مع درجة الحرارة.

γ = ثابت مقياس الرطوبة (Psy chrometric Constant)

W = قيمة W (لمختلف درجات الحرارة والارتفاعات) متاح فـي الجـدول ٥- الملحق A

Q_{nL} = صافي الإشعاع المكافئ للمليمتر/ اليـوم. والـذي يـساوي الفـرق بـين الإشعاعات الساقطة والإشعاعات المنعكسة

$F_{(v)}$ = دلالة العلاقة بالريح

$$fv = 0.27\left(1 + \frac{V_2}{100}\right)$$

حيث

V_2 = متوسط سرعة الريح كيلو متر فى اليوم عند إرتفاع ٢ متر.

V_{sa} = ضغط بخار التشبع عند متوسط درجة حرارة الهــواء بمقــدار (mb)، وإذا كانت ضغوط البخار بالمليمتر زئبق يتم الضرب في ١,٣٣ لإيجاد (mb)

V_a = متوسط ضغط البخار الحقيقي (mb)

(1-W) = معامل الوزن لتأثير الريح والرطوبة على E_p

γ = ٠,٤٩ ملليمتر زئبق عند صفر درجة مئوية.

البخر من الأسطح المعرضة للمياه والممتدة مثل البحيرات والخزانات ذات طاقة تخزين حراري مهملة يمكن اعتباره مكافئًا لقدرة البخر والنتح. جهــد البخــر والنــتح يعرف بأنه الفقد فى المياه الذى سوف يحدث في حالة وجود نقص فــي مــاء التربــة للاستخدام في الرى.

المعادلة السابقة (١) تتكون من شقين وهما الإشعاع والديناميكا الهوائية، الأهمية النسبية لكل منهما تتوقف على الظروف المناخية. لذلك، فإنه يلزم تعيين دالة الترجيح. شق الديناميكا الهوائية يكون عادة أقل أهمية عن شق الطاقة عندما تكون حالات الجــو هادئة، ولكن يكون تأثير كبير في حالات الرياح، وفي المنــاطق الجافــة. المتوســط اليومي لبيانات المناخ يتم استخدامها في المعادلة (١).

عند عدم حساب البيانات عند ارتفاع ٢ متر. فإذا الجدول (6 - A) فــي الملحــق يعطى التصحيح المناسب لقياسات الريح المأخوذة عند مختلــف الارتفاعــات. حتــى ارتفاع ٥٠٠ متر فوق مستوى الأرض، يمكن حساب سرعة الريح من العلاقة الآتية:

$$W_h = Ch^m$$

حيث

C = ثابت

W_h = سرعة الريح عند الارتفاع h فوق الأرضي

التحكم في بخر الخزان: Control of Reservoir Evaporation

الفقد في البخر من كتل المياه الضخمة مثل البحيرات والخزانات يعتبر فقد اقتصادي كبير.

الخطوات اللازمة لخفض البخر من الخزان لوحدة التخزين كالآتي:

١- يتم اختيار موقع السد / الخزان بما يحقق أقل مساحة سطحية للخزان لكل وحدة تخزين.

٢- الخزانات الصغيرة يمكن أن يتم لها توفير أغطية حماية ميكانيكية التي قد تكون من النوع الدائم أو الطافي. تلك الطريقة رغم أنها مؤثرة إلا أنها مكلفة.

٣- مركبات كيماوية معينة مثل (Hexadecanol and Octadecanol) التي تنتشر في الطبقات ذات الجزئ الواحد (Monomolecular Layers) فوق أسطح المياه والتي تعيق البخر يمكن استخدامها.

٤- مقاومة النباتات الشرهة للمياه من محيط الخزان مثل النباتات عميقة الجذور (Phreatophytes).

٥- إنشاء كاسرات الريح (Wind Breakers)

النتح: (Transpriration)

العملية التي تعود بها الرطوبة إلى الجو بعد مرورها خلال النبات تسمى النتح. كل الرطوبة يتم صرفها أساساً في شكل بخار الماء. ولكن النتح ليس مثل البخر الذي يستمر خلال اليوم ليلاً ونهارًا، حيث النتح يكون في ساعات ضوء النهار فقط. يتغير النتح خلال الساعات ٢٤ لليوم. النتح يتأثر أساسًا بدرجة الحرارة، ضوء الشمس، رياح الرطوبة المتاحة، ومرحلة نمو النبات. في دراسة ميزان المياه لحوض الصرف، فإنه يتم التعامل مع البخر والنتح كعنصر واحد، حيث أن فصلهما غير ممكن عمليًا.

تبخر التربة:(Soil Evaporation)

الفقد في الرطوبة خلال البخر المباشر من حبيبات التربة الموجودة عند أو قريبًا من سطح الأرض يسمى البخر الأرضي أو بخر التربة. وهو دلالة لنفس المعايير التي تؤثر على التبخير من الأسطح الحرة والمعرضة للمياه، زائد عامل يعرف بفرصة التبخير (Evaporation Opportunity).

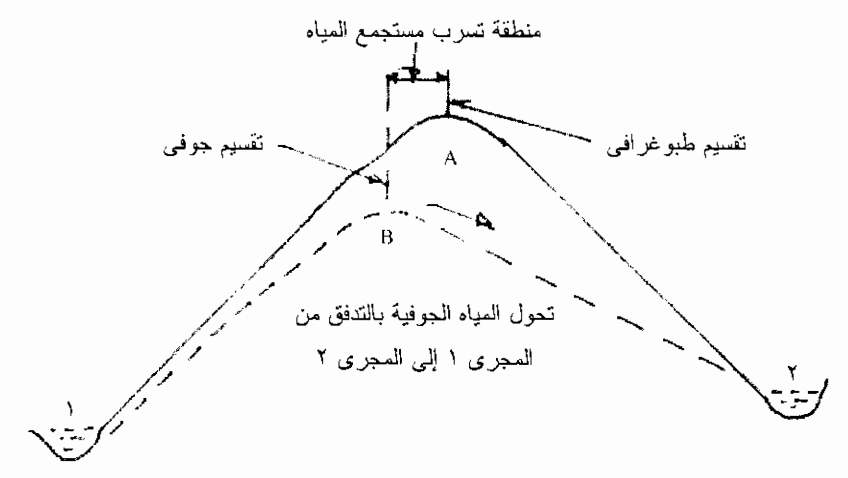
فرصة التبخر يمكن تعريفها بأنها النسبة بين البخر الحقيقي من سطح الأرض إلى معدل البخر من سطح الماء العرضي، وقيمته تتراوح من الصفر في حالة التربة الجافة جدًا إلى ١٠٠% للتربة المكشوفة بعد المطر مباشرة.

تبخير التربة يتم قياسه بواسطة أجهزة القياس (Lysimeters) للتربة ذات الصرف الحر. هذا الجهاز عبارة عن حوض مربع ١,٣ أو ٢ متر وبعمق ٢ متر، مملوء بالتربة والسطح العلوي يكون غالباً مع الأرض، القاع يكون عادة في شكل القمع والصرف في وعاء مغلق موضوع في سرداب تحت الأرض. الفرق بين سقوط المطر والصرف هو تبخير التربة.

في حالة التربة حيث سطحها يقع باستمرار خلال تخوم الخاصية الشعرية، فإن الأحواض يتم إعدادها بنظم لاستمرار خط المياه عند الارتفاع المطلوب. يضاف الماء إلى الأحواض البينية للمحافظة على ثبات منسوب المياه. يتم تعيين بخار التربة بوزن الأحواض على فترات مناسبة.

تسرب مستجمع المياه Water Shed Leakage

كل حوض صرف المياه يكون محاطًا بتقسيم طبوغرافي يثبت المساحة التي ينتج منها التدفق السطحي. بالمثل فإنه يوجد تقسيم جوفي تحت الأرض الذي يحدد حدود المساحة التي يتم منها تغذية المياه الجوفية إلى كل نظام مجرى، الشكل (٣/٥). عند عدم تطابق التقسيم الطبوغرافي والتقسيم الجوفي فإنه يحدث تسرب لمستجمع المياه ويساوي تدفق المياه الجوفية من المساحة بينهم. تسرب مستجمع المياه يتحرك دائمًا عبر التقسيم الطبوغرافي.



شكل (٣/٥) تسرب مستجمع المياه

في معظم الحالات يعتبر تسرب مستجمع المياه غير هام نسبيًا مقارنة بحالات الفقد الأخرى، حيث يكون الفقد لمستجمع المياه من حوض صرف يتم معادلته بالتراكم من الآخر. خلال المعلومات عن التكوينات الجيولوجية تحت حوض الصرف حيث يكون أفضل دليل نحو احتمال حدوث تسرب من مستجمع المياه.

الفصل الرابع

التقسيمات الهيدروليجية لسقوط الأمطار

Hydrological Divisions of Rainfall

١– عملية الإنسياب السطحى لسقوط الأمطار: (Rainfall – Runoff Process)

عند بداية سقوط المطر، فإنه يعترض بالمباني والأشجار والأغراض الأخـــرى، التي تمنع وصوله إلى الأرض. هذه الكمية تعرف باعتراض سقوط المطر.

(Rain fall Interception). حيث أن هذه الكمية تكون صغيرة جدًا فإنها لا تكـــون ذات أهمية في حالة المطر الشديد، ولكن في كثير من الحالات يتم التخلص من حجـــم كبير من المطر الخفيف بهذه الطريقة. الفرق بين إجمالي المطر الساقط وذلك الذي يتم اعتراضه يسمى سقوط المطر الأرضي (Ground Rain fall).

ثانيا، عندما يزيد معدل سقوط المطر عن معدل الاعتراض، فإن الماء يبدأ فـــي الوصول إلى الأرض والتسرب (Infilteration)، نحو الطبقات تحت التربـــة (Subsoil Strate). أقصى معدل الذي عنده التربة في حالة معينة يمكنها امتصاص الماء تعـــرف بطاقة التسرب أو طاقة الرشح (f) (Infilteration Capacity).

ثالثًا، مياه المطر الزائدة تتجمع في العديد من المنخفضات الــصغيرة والكبيـــرة الموجودة في الحوض، وتملأها إلى مستوى التدفق العلـــوي – هـــذه الكميـــة تعـــرف بتخزين الانخفاض(Depression storage). كل هذا التخزين يتم إستهلاكه إما بتبخيره أو استخدامه بواسطة النباتات، أو أخيرًا التسرب في التربة. ولا يوجد منه ما يظهر فـــي شكل التدفق السطحي.

إذا استمرت شدة المطر (P) في الزيادة بعد امتلاء تخزين الانخفاض عن طاقة الرشح للتربة (f) ، فإن الفرق يظهر في شكل سقوط مطر زائد، والذي يتراكم أولاً على الأرض في شكل احتجاز سطحي (Surface Detention) (D)، ثم عندئذ يتدفق فى شكل التدفق فوق الأرض (Overland Flow). على سطح الحوض قبل دخول مجرى القناة. المياه التي تصل مجرى القناة للحوض بهذه الطريقة تسمى الانسياب السطحي أي تلك المناسبه وغير المتسربة إلى جوف الأرض (Surface-run off) (SRO). لذلك فإن الانسياب السطحي يمكن أن يحدث فقط من تلك العواصف التي يمكن أن تساهم في زيادة السقوط للمطر، والتي ببساطة لا يتم تبديدها في الاعتراض وتخزين المنخفضات والتسرب والرشح في الأحواض.

سقوط المطر الزائد Excess Rainfall

سقوط المطر الزائد يمكن أن يسمى كذلك سقوط المطر المؤثر، يتم تمثيله بالآتي:

سقوط المطر الزائد = سقوط المطر – الاعتراض – تخزين المنخفض – التسرب أو الرشح.

مجموع كلاً من الاعتراض وتخزين المنخفض للحوض يسمى عادة الفقد الأول، أو فقد الحوض، أو إعادة السخن الأولي للحوض. لذلك فإن زيادة المطر الساقط يمكن تمثيله كالآتي:

زيادة المطر الساقط = المطر الساقط – الفقد الأولي للحوض – التسرب

مجموع إجمالي الفقد الأولي للحوض والتسرب يسمى التسرب المحتمل أو الكامن (Potential Infilteration). نظرًا لأنه في حالة المطر الشديد يكون الفقد الأولي صغيرًا جدًا مقارنة بالمطر الزائد، فإنه عادة يتم إهماله في دراسات المياه لمثل هذه الحالات، أو يتم تقديره ليكون ضمن التسرب نفسه. لذلك فإن معدل التسرب يمثل كالآتي:

سقوط المطر الزائد = (سقوط المطر – التسرب) حيث يشمل التسرب الفقد الأولي

الماء الزائد الذي يتدفق فوق الأرض أو تدفق القناة في مستجمع مياه النهر (Water-shed). تظهر حيزًا كتدفق سطحي عند مخرج الحوض، ولكن فقط بعد امتلاء طاقة مجرى قناته. هذا التخزين عند أي لحظة يعرف بتخزين القناة (Channel Storage)، ويحتمل أن يقلل من معدل الذروة للانسياب السطحي عند مخرج الحوض.

المطر الأولي والمتبقي: Initial and Residual Rain

المطر الذي يسقط في بداية عاصفة وقبل امتلاء المنخفض يسمى المطر الأولي (Initial Rain)، والمطر الذي يسقط قرب نهاية العاصفة بمعدل أقل من طاقة التسرب يسمى المطر المتبقى (Residual Rain). الفترة المتداخلة (Intervening period) هي فترة صافي الإمداد (Netsupply Interval). التسرب الذي يحدث بعد فترة صافي الإمداد يسمى التسرب المتبقى (Residual Infiltration)، وهو يتكون من سقوط المطر المتبقي زائد ذلك الجزء من المتبقي السطحي الذي على الأرض عند نهاية صافي فترة الإمداد ولكن بعد التسربات. لذلك فإن إجمالي المطر الساقط يساوي التدفق السطحي زائد الفرق بين التسرب المتبقي وسقوط المطر المتبقي. ولكن حيث الكمية الأخيرة تكون صغيرة عادة، فإن سقوط المطر الزائد يعتبر مساويًا للتدفق السطحي.

التدفق والتدفق السطحي (Runoff and Surface Runoff)

التدفق والتدفق السطحي هما مصطلحان مختلفان. التدفق يشمل كل المياه المتدفقة في مجرى القناة عند أي مقطع. بينما التدفق السطحي يشمل فقط المياه التي تصل مجرى القناة بدون التسرب السفلي نحو خط المياه. التدفق السطحي يـ ـى كذلك التدفق المباشر (Direct Run off). والتدفق يسمى كذلك التصرف (Discharge) أو تدفق المجرى (Stream flow).

إنتاجية حوض الصرف: (Yield of Drainage Basic):

إنتاجية حوض الصرف هي نفسها مثل التدفق، الفرق الوحيد هو أنه يقدر لفترات زمنية طويلة، بينما التدفق السطحي يقدر لفترات قصيرة. لذلك، فإن الإنتاجية تقدر عمومًا بالحجم الكلي للماء المتدفق في العام، مثل مليون متر مكتب في العام، بينما التدفق هو المعدل اللحظي ويقدر بحجم الماء المتدفق عند مقطع معين من النهر في الثانية أو في الساعة، مثل متر مكعب في الثانية أو متر مكعب في الساعة.

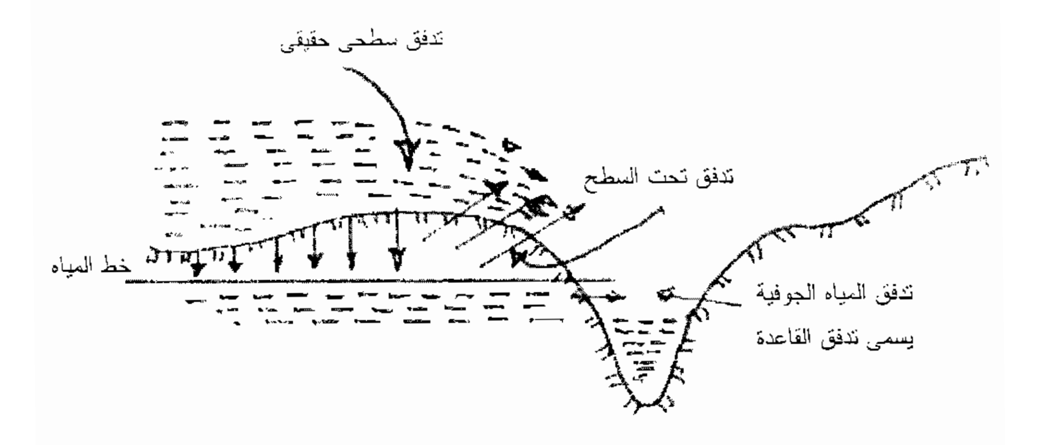
مكونات التدفق السطحي (constituents of surface Runoff)

التدفق السطحي كما تم تعريفه هو الماء الذي يصل مجرى القناة بدون التسرب إلى أسفل أولاً إلى خط المياه الجوفية. هذا التدفق السطحي قد يكون لمساحات معينة، وينقسم إلى قسمين.

١- الماء الذي يتدفق مباشرة فوق سطح الأرض ويسمى التدفق السطحي الحقيقي (Surface Run off).

٢- جزء من الماء الذي يتسرب خلال التربة، ويتحرك جانبيًا، وقبل الاتصال بخط المياه، يتصل بقيام النهر كما في الشكل (٤/١). هذا التدفق الداخلي الفوري يعرف بالتدفق تحت السطحي.(Subsurface Run off). وهو يسلك تقريبًا مثل التدفق السطحي وليس مثل تدفق المياه الجوفية، حيث أنه يصل المجرى بسرعة بحيث تصعب التفرقة بينه وبين التدفق السطحي الحقيقي. على الجانب الآخر، تدفق المياه الجوفية عادة يستغرق وقتًا طويلاً قبل الوصول إلى المجرى.

لهذا السبب فالتدفق تحت السطح يعامل دائمًا كجزء من التدفق السطحي.



شكل (٤/١) مكونات التدفق السطحى والتدفق الجوفى

مكونات التدفق:(constituents of Run off)

تدفق مجرى النهر يتكون من المكونات الثلاثة الآتية:

١- الترسيب المباشر فوق سطح المجرى.

٢- التدفق السطحي المكون من التدفق السطحي الحقيقي والتدفق تحت السطح.

٣- التدفق الداخلي للمياه الجوفية، والذي يسمى تدفق القاعدة (Base Flow) الجزء الأول يوفر جزء صغير جدًا من التدفق الكلي.

لذلك فإن تدفق النهر يمكن أن يتكون من التدفق السطحي والتدفق الداخلي للمياه الجوفية فقط. لذلك يمكن كتابة

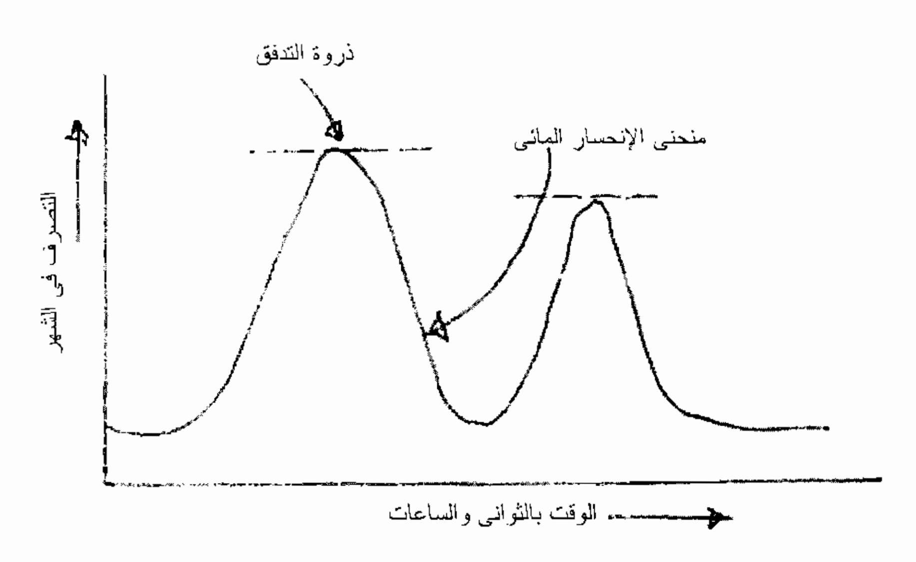
التدفق = التدفق السطحي + التدفق الداخل للمياه الجوفية (أي تدفق القاعدة).

الخريطة المائية لتدفق المجرى:Hydrograph of stream Flow:

الخريطة المائية هي تمثيل بالرسم البياني للتصرف المتدفق في النهر عند مكان معين، مع مرور الوقت. لذلك فإن العلاقة بين الوقت (على المحور X)، التصرف (على المحور Y) كما هو مبين في الشكل (٤/٢).

مثل هذا البيان يكون ممثلاً لتغيرات التصرف في النهر عند موقع معين، وكذلك يمكن أن يبين ذروة التدفق، التي تحكم تصميم منشأ هيدروليكي عند ذلك الموقع.

أقصى تدفق في النهر بسبب أي عاصفة يعرف بتدفق الذروة. (Peak Flow). تدفق الذروة هذا يختلف مع اختلاف أنواع العواصف.



شكل (٤/٢) مخطط البيان المائى

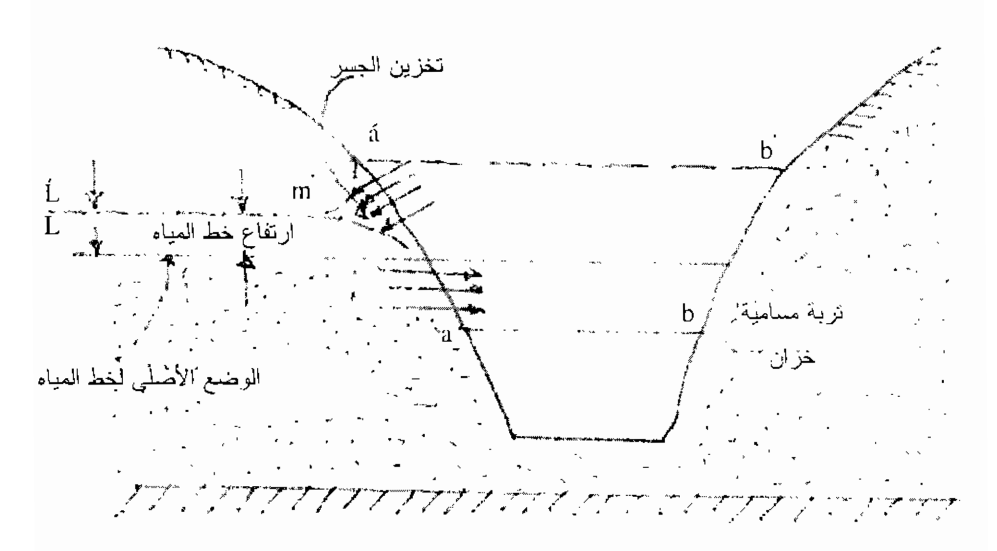
تدفق القاعدة (Base Flow)

المخطط البياني لتدفق النهر، هو التمثيل البياني لتصرف النهر، والذي يشمل التدفق السطحي والتدفق الداخل للمياه الجوفية (الذي يسمى تدفق القاعدة).

لعمل المخطط البياني المائي للتدفق السطحي فإنه يجب أن يتم طرح تدفق القاعدة من مخطط التدفق – لذلك فإنه يكون من الضروري تفهم تحركات تدفق المياه الجوفية، في النهر.

في الواقع، فإن المياه الجوفية قد تدخل أحيانًا النهر، وأحيانًا تكون بعيدة عنه طبقًا لما إذا كان الماء يخرج من القناة أو يدخل فيها، فإن القناة يمكن أن تسمى المجرى المتفرع من نهر أو بحيرة (Effluent stream) أو الرافد (Influent stream) على التوالي. نفس القناة يمكن أن تعمل كقناة دخول أو قناة خروج مع التغيرات الموسمية والأسباب المتعلقة بتلك التحركات هي كالآتي:

في حالة النهر الموضح في الشكل (٤/٣). لنفترض أن (Lm) هو وضـــع خـــط المياه الجوفية، وأن (ab) هو منسوب الماء في النهر، منسوب الماء (ab) أســـفل خـــط المياه (Lm). مثل هذه الحالة قد تحدث في موسم الصيف بعد نهاية موسم الأمطار.



شكل (٤/٣) تدفق القاعدة

في هذه الحالات، حيث منسوب المياه في النهر يكون منخفضًا عن خـــط الميـــاه فإنه يبدأ التدفق من أسفل خط المياه نحـــو المجـــرى بـــسبب الفـــرق فـــي الـــضغط الهيدروستاتيكي بين الجسور والمجرى. دخول المياه الجوفية ســـوف يـــستمر حتـــى يتساوى منسوب المياه. معظم الأنهار تحصل على إمداداتها خلال موسم الصيف مـــن عملية دخول المياه الجوفية.

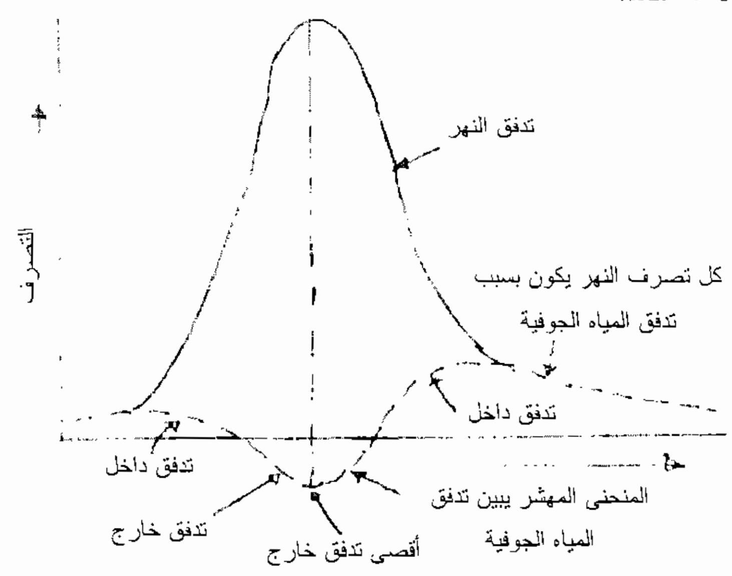
أثناء موسم المطر، عندما تزيد الأمطار الثقيلة كفاءة رطوبة التربة وتسقط علـــى السطح، سببه كمية كبيرة من التدفق السطحي فإن تلك الحالة يمكن تصورها كالآتي:-

كلاً من خط المياه وكذلك سطح المياه في النهر سوف يرتفع. ولكن الارتفاع فـــي مياه النهر سيزيد عن الارتفاع في خط المياه.

بفرض (L'm') هو الموقع الجديد لخط المياه، وأن (a' b') سطح المياه الجديد فـــي النهر. بمجرد حدوث هذه الحالة، فإنه سوف يوجد ضغط هيدروستاتيكي أعلـــى فـــي المجرى على الجسور، ولذا فإنه سوف يبدأ التدفق الخارج من المجرى. بمعنى آخـــر،

سوف يتوقف التدفق الداخل من المياه الجوفية وأن اتجاه التدفق سوف ينعكس، مكونًا مخزون الجسر (Bank storage) الموضح بواسطة (am' m') شكل (٤/٣). هذا التدفق الخارج سوف يستمر حتى وصول منسوب المياه في النهر ليكون أعلى من منسوب خط المياه الجوفية بمجرد هبوط منسوب المياه فى النهر أسفل منسوب خط المياه، فإذا التدفق ينعكس ثانيًا ويبدأ التدفق الداخل من المياه الجوفية إلى النهر. وبعد وقت، بسبب مخزون الجسر فإن تدفق المياه الداخل يزداد كثيرًا. وبمجرد صرف مخزون الجسر فإن الماء سوف يتدفق بالطريقة الطبيعية.

لذلك، فإنه يمكن استنتاج أنه خلال مرحلة ذروة النهر فإنه يوجد تدافع خارج من النهر نحو الخزان الجوفى، ولكن بمجرد سقوط الذروة، فإن التدفق ينعكس ويبدأ دخول التدفق الداخل من المياه الجوفية إلى النهر – ويمثله المخطط المائي الموضح بالخط المهشر في الشكل (٤/٤). جزء المنحنى أسفل المحور الأفقي يمثل التدفق الخارج والجزء فوقه يمثل التدفق الداخل. نظرًا لأن التدفق الخارج من النهر يحدث لفترة زمنية قصيرة جدًا ويقوم بعملية الرشح (Infilteration) فإنه عادة يهمل في جميع الحسابات المائية، بينما التدفق الداخل نحو النهر يحدث لفترات طويلة ومسئول عن زيادة التدفق في الأنهار كما ينبغي حسابه. هذا التدفق الداخل يشار إليه عمومًا بتدفق القاعدة (Base Flow).

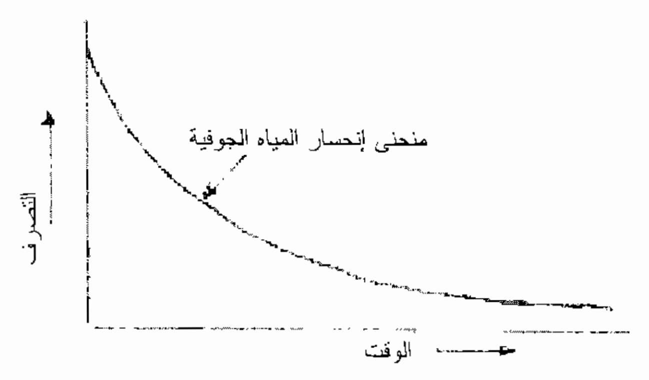


شكل (٤/٤) تأثير تدفق المياه الجوفية على تصرف النهر

منحنى نضوب المياه الجوفية أو منحنى تدفق القاعدة:

Ground Water Depletion Curve or Base Flow Curve

عندما لا يكون هناك تدفق سطحى إما من الأمطار أو من انصهار الجليد، فإن ماء النهر يكون مشتقا من المياه الجوفية. هذا ينتج عنه انخفاض مستمر لخط المياه مع استمرار خفض تدفق المجرى (التصرف) حتى حدوث المطر لإنتاج تراكم للمياه الجوفية أو تدفقات سطحية. إذا حدث بعد المطر الشديد (عندما يكون خط المياه عند أقصى ارتفاع)، عدم حدوث مطر بعد ذلك، فإن تدفق المجرى يمكن إمداده كلية بواسطة تدفق القاعدة، حتى هبوط خط المياه إلى أسفل أدنى مستوى لطبقة قناة المجرى، عندئذ وفي هذه الحالة، فإنه لا يوجد تدفق في النهر. المخطط البياني المائي للنهر خلال تلك الفترة (أي من الوقت عندما يكون خط المياه عند أقصى ارتفاع حتى الوقت حيث لا يوجد تدفق) ليس إلا مخطط بياني للتدفقات الداخلة من المياه الجوفية إلى النهر، والتي تعرف بمنحنى نضوب المياه الجوفية أو منحنى تدفق القاعدة. نموذج لمنحنى نضوب المياه الجوفية موضح في الشكل (٥/٤)

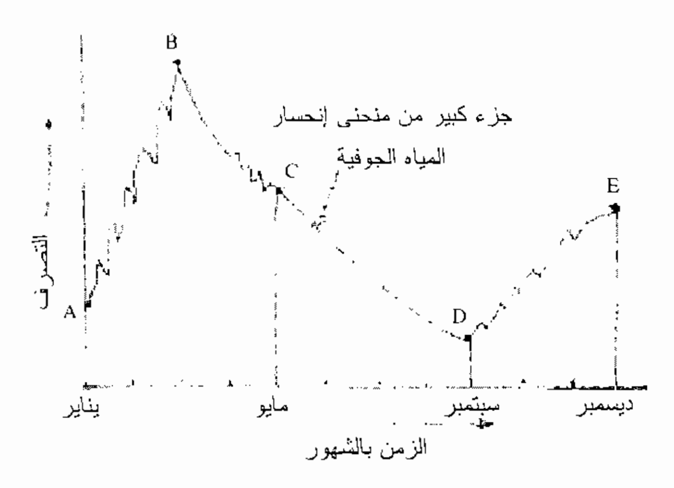


شكل (٥/٤) منحنى إنحسار المياه الجوفية

كما سبق شرحه، فإن المخطط البياني للنهر هو تمثيل لتدفق النهر، التدفق هو مجموع التدفق السطحي وتدفق المياه الجوفية. عندما يكون التدفق السطحي صفر فإن التدفق يساوي تدفق المياه الجوفية، لذلك خلال فترات التدفق السطحي صفر، فإن المخطط البياني للنهر سوف يمثل المخطط البياني لتدفق المياه الجوفية في النهر أي منحنى نضوب المياه الجوفية.

لذلك، فإن منحنى نضوب المياه الجوفية يجب أن يتم تمثيله بواسطة جــزء مــن المخطط البياني السنوي للنهر، في الواقع، فإن منحنى انحسار ألبيان المــائي الــسنوى يمثل جزء من منحنى نضوب المياه الجوفية.

فقط الفترة الزمنية الطويلة بدون مطر تضمن احتمال تمام تنمية منحنى نــضوب المياه الجوفية. ولكن من الناحية العملية، في المناطق حيث الترســيب العــالي فإنــه لا تحدث فترة زمنية طويلة لعدم سقوط أمطار، والتي تسبب تمام تنمية منحنى نضوب المياه الجوفية. المثال الواضح لمنحنى نضوب المياه الجوفية هو المخطط البياني لنهر الكونغو البلجيكي (لالابا). وهو نهر مداري وله سقوط أمطار موســمية ملحــوظ، ولا يوجد سقوط مطر خلال الأشهر من مايو إلى سبتمبر. خلال تلك الفترة من مايو إلــى سبتمبر يكون إجمالي التدفق مبني على التدفق الداخل من المياه الجوفية. مخطط بياني لمياه هذا النهر موضح في الشكل (٤/٦).



شكل (٤/٦) المخطط المائى السنوى لنهر لالابا (Laulaba)

الجزء (CD) من هذا المخطط البياني المائي يمثل منحنى نضوب المياه الجوفيــة أو منحنى تدفق القاعدة.

عزل تدفق القاعدة من الخريطة المائية البيانية للنهر للحصول على البيان المباشر للتدفق

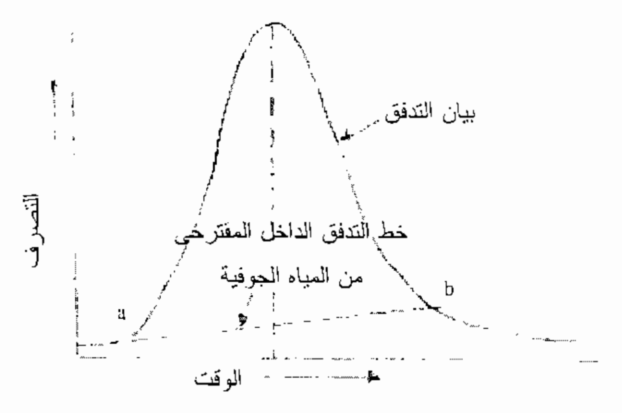
Separation of Base Flow From Hydrograph of River To obtain Direct Run off Hydrograph.

إذا كان الماء المتدفق في النهر من المياه الجوفية يكون التصرف الحقيقي للنهر، فإنه يمكن الحصول على الخريطة المائية للتدفق السطحي للنهر، على أساس إهمال الترسيب المباشر فوق النهر.

لذلك، عند الرغبة في فصل التدفق السطحي، فإن منحنى المياه الجوفية الداخلة يكون فوق مخطط التدفق. الرقم ما بين هذين المنحنيين سوف يمثل المخطط البياني للتدفق السطحي أو مخطط التدفق المباشر شكل (٤/٧).

ولكن تقييم منحنى التدفق الداخل للمياه الجوفية ليس سهلاً، ولذا فلعزل تدفق القاعدة الداخل فإنه عمومًا يتم رسم خط مستقيم مثل (ab) على المخطط البياني لتدفق النهر.

النقطة (b)، رغم هذا، لا يمكن تحديدها بدقة، ولكن هذا ليس ذو أهمية بالغة، طالما يتم تبني نفس الطريقة. هذه النقطة قد تؤخذ كنقطة أكبر انحناء قرب الطرف المنخفض لجانب الانحسار للمخطط البياني المائي. في الواقع، فإن النقطة (b) تمثل النقطة حيث يتوقف التدفق السطحي، ولذلك، بعد النقطة (b) هذه فإن الرسم البياني للتدفق سيكون هو منحنى استنزاف المياه الجوفية فقط. ولذا، فإن الجزء (bc) يمثل منحنى استنزاف المياه الجوفية.



شكل (٤/٧) فصل التدفق القاعدى للحصول على المخطط المائى للتدفق المباشر

لذلك، فإنه في حالة توفر التسجيلات الكافية فإنه من هذه التسجيلات يـتم توقيـع منحنى استنزاف المياه الجوفية على ورق شفاف، يتحرك على المخطط البياني للتـدفق حتى يتطابق هذا المنحنى مع الجزء (bc) من المخطط البياني، فإنـه يمكـن بـسهولة تثبيت النقطة (Q). في هذه الطريقة لتثبيت النقطة (b)، يجب الحرص على رؤية أنه تم توقيع منحنى انحسار المياه الجوفية على نفس الدوران مثل ذلك للمخطط البياني للنهر.

المخططات المائية السنوية للمجاري المدنية المستمرة طوال العام والمتقطعة سريعة الزوال:

Annual Hydrogoraphs of perennial Intermittent And Ephemeral streams:

دراسة الخريطة المائية السنوية للمجارى المائية يمكن أن تساعد فـي تـصنيف المجارى المائية إلى الأنواع الثلاث التالية:

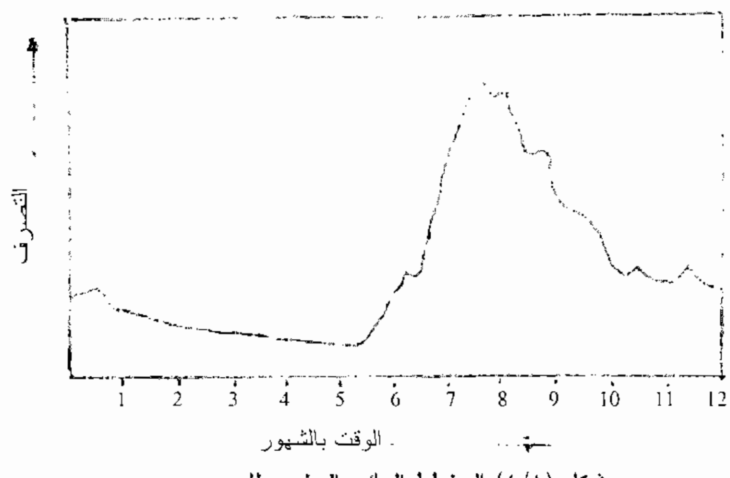
١- المجارى المائية المستديمة طوال العام

٢- المجارى المائية المتقطعة.

٣- المجارى المائية سريعة الزوال.

المجاري المائية المستديمة طوال العام:

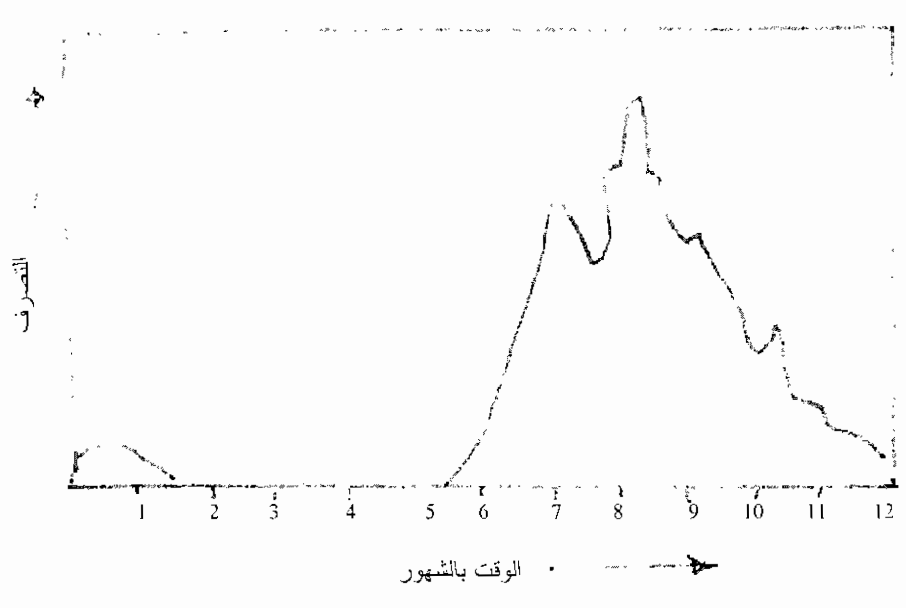
وهذه تحمل بعض التدفق خلال العام شكل (٤/٨)، ولذا تكون عادة حاملة لكميـة كبيرة من تدفق القاعدة. خط المياه يكون عادة فوق طبقة النهر.



شكل (٤/٨) المخطط المائى السنوى للمجرى

المجاري المتقطعة:

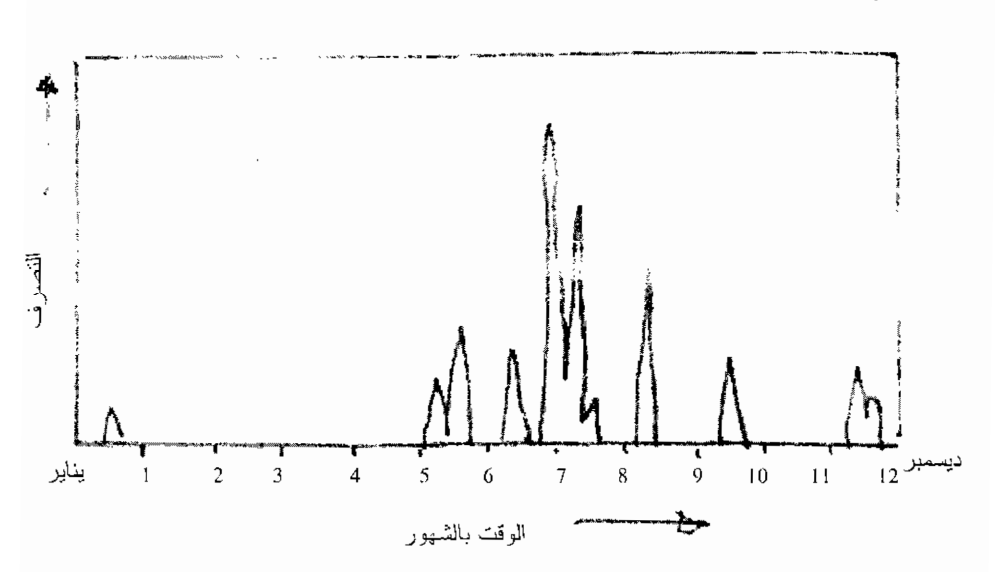
وهذه تتدفق فقط خلال موسم الخماسين شكل (٤/٩)، ولذا فإنهـا تحمـل تـدفق القاعدة الذي يساهم فقط خلال الموسم الممطر. خط المياه في المنطقة يكون فوق طبقة النهر فقط خلال الموسم الممطر.



شكل (٤/٩) المخطط السنوى للمجرى المتقطع

المجاري المائية سريعة الزوال:

وهذه لا تستقبل أي تدفق قاعدة يساهم، حيث خط المياه في المنطقة يكون دائمـا دون مستوى طبقة المجرى. المخطط البياني المائي لهذا المجرى شكل (٤/١٠) يمثـل تدفقات وميضية (Flash Flows) نتيجة للعواصف الممطرة.



شكل (٤/١٠) المخطط السنوى للمجرى المائى سريع الزوال

الفصل الخامس

الرشح أو التسرب لمياه الأمطار

Rain fall in Filtration

الماء دائم التبخر من الأرض، ويتم ترسيبه ثانيًا على الأرض، أساسًا في شكل سقوط المطر. جزء من المطر الساقط هذا يغوص في الأرض مكونًا خزان المياه الجوفية، الجزء الرئيسي الثاني يتدفق في شكل الأنهار والباقي يفقد في البخر والنتح. الجزء من المطر الساقط الذي يتسرب إلى التربة سيتم دراسته.

١- الترشيح أو التسرب Infiltration

عند سقوط المطر على تكوينات ما، فإن جزءًا صغيرًا يتم امتصاصه أولاً بواسطة الطبقة الرقيقة للتربة وذلك لإثراء كفاءة رطوبة التربة. لذلك، فإن الماء الزائد يتحرك إلى أسفل حيث يحتجز في الفراغات ومسام التربة ويصبح مياه جوفية.

هذه العملية، حيث تدخل المياه سطح طبقة التربة وتتحرك إلى أسفل نحو خط المياه، تعرف بالرشح أو التسرب.

٢- طاقة الرشح: Infiltration Capacity

كمية المياه الجوفية المخزنة في التربة تحت الأرض تتوقف أساسًا على عدد الفراغات الموجودة في التربة والتي بالتالي لا تعتمد على حجم حبيبات التربة ولكن على التنظيم والشكل ودرجة الدمج. لذلك، فإن أنواع التربة المختلفة سيكون لها عدد مختلف من الفراغات وبالتالي، قدرات وطاقات مختلفة لامتصاص المياه.

أقصى معدل الذي عنده التربة في أي حالة تكون قادرة على امتصاص المياه يسمى طاقة الرشح والتسرب للتربة. ويشار إليها بالرمز (f).

٣- معدل الرشح: Infiltration Rate

من الواضح أن المطر سوف يدخل التربة بأقصى معدل للطاقة (f) فقط خلال حالات زيادة سقوط المطر عن طاقة الرشح. عندما تكون شدة المطر أقل من طاقة الرشح، فإن معدل الرشح السائد يكون تقريبًا مساويًا لمعدل سقوط المطر. لذلك، معدل الرشح الحقيقي السائد قد يكون مساويًا أو أقل من طاقة الرشح. هذا المعدل السائد الذى عنده تدخل المياه تربة معينة في وقت معين يعرف بمعدل الرشح.

في حالة زيادة شدة سقوط الأمطار (P) عن طاقة الرشح (f) فإن الفرق يسمى المعدل الزائد لسقوط المطر (Pe). هذا الماء الزائد يتراكم أولاً على الأرض في شكل احتجاز سطحي (D) (Surface Detention)، ثم يتدفق فوق الأرض نحو المجاري المائية.

٤- رطوبة التربة: Soil Moisture

المياه أسفل خط المياه تعرف بالمياه الجوفية والمياه فوق خط المياه تعرف برطوبة التربة. المنطقة فوق خط المياه تنقسم إلى ثلاث مناطق:

١- منطقة الخاصية الشعرية (Caplillary zone).

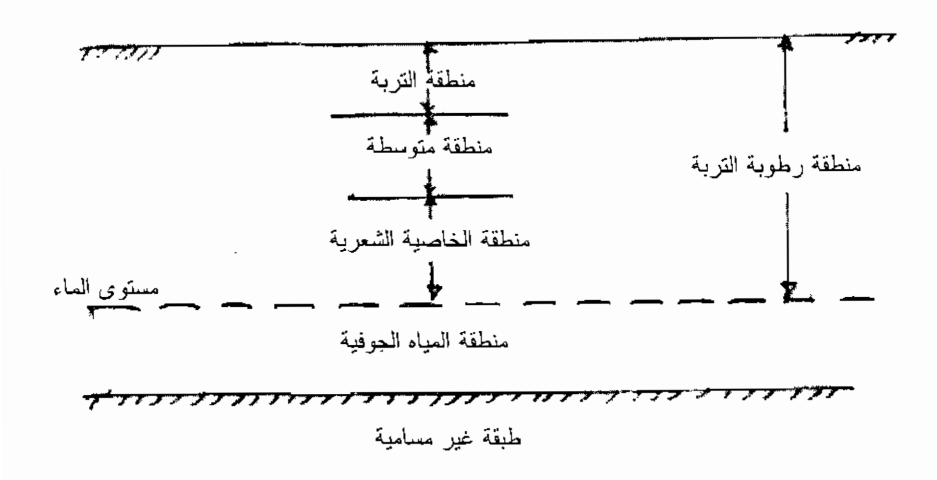
٢- المنطقة المتوسطة.

٣- منطقة التربة (Soil Zone)

فوق خط المياه بمسافة تتراوح ما بين ٠,٣ إلى ٣ متر طبقًا لشكل التربة، توجد منطقة الخاصية الشعرية أو تخوم الخاصية الشعرية. خلال منطقة الخاصية الشعرية هذه يظل محتوى الرطوبة ثابتًا بفعل الخاصية الشعرية.

أسفل سطح الأرض، توجد منطقة التربة، والتي تعرف بعمقها لحمل المخترق بجذور النبات. خلال منطقة الجذور هذه، يتغير المحتوى من الرطوبة بشدة، حيث يتراوح ما بين الحالة المشبعة جزئيًا مباشرة بعد فترات المطر الشديد، إلى أدنى محتوى بعد الجفاف الطويل المستمر.

المنطقة بين منطقة الخاصة الشعرية ومنطقة التربة تسمى المنطقة المتوسطة في هذه المنطقة باستثناء فترات تراكم المياه الجوفية من سقوط المطر فإن كمية المياه داخل أي فراغ تكون ثابتة تقريبًا خلال العام. في بعض الحالات، يكون ارتفاع منطقة الخاصية الشعرية زائدًا، وقد تمتد حتى منطقة التربة. في تلك الحالة، فإنه سوف لا تكون هناك منطقة متوسطة. مختلف المناطق موضحة في الشكل (٥/١)



شكل (٥/١) مختلف مناطق التربة

٥- الطاقة الحقلية: Field Capacity

بعد المطر مباشرة وعند صرف الجاذبية كل مياه نحو خط المياه، فإنه تظل كمية معينة من الماء على أسطح حبيبات التربة بالانجذاب الجزئي Melecular Attraction. وهذا ما يعرف بماء الغشاء السطحي (Pellicular Water). هذا الماء لا يمكن إزالته بسهولة. درجة مقاومته للتحرك يعبر عنها بالجذب السطحي (Surface Tension). عند التعبير عن هذا الماء والذي يمكن لأي تربة احتجازه ضد

الجاذبية بطريقة غير محددة فإن التقدير يكون بعمق الماء (كما لو كان منتشرًا على الحوض) عندئذ فإنه يعرف بالطاقة الحقلية (Field capacity).

جزء معين من ماء الغشاء السطحي هذا الذي يمكن استخلاصه بسهولة بفعل جذور النباتات يسمى الرطوبة المتاحة (Available Moisture). الباقي هو الرطوبة غير المتاحة ويعرف بالماء الاسترطابي أي الماص للرطوبة من الهواء (Hygrosocopic water) . النباتات يمكن أن تستخلص الماء من التربة حتى الوصول إلى نقطة الذبول (Welting point). لذلك، فإن الرطوبة المتاحة هي الرطوبة ما بين الطاقة الحقلية (الحد العلوي) ونقطة الذبول (الحد السفلي). نقطة الذبول هي المحتوى من الرطوبة الذي عنده يحدث الذبول الدائم للنباتات. مياه الاسترطاب (Hygros copic) يكون عندئذ المحتوى من الرطوبة في التربة بعد الذبول.

عمق الماء اللازم للوصول بالمحتوى من رطوبة التربة لدرجة معينة إلى طاقتها الحقلية يسمى النقص في الرطوبة الحقلية أو نقص رطوبة التربة (Soil Moisture Deficiency).

عند سقوط المطر، فإنه أولاً وقبل كل شيئ يقوم بإمداد وامتلئ النقص في رطوبة التربة، وعندئذ فقط فإنه يمكن أن يكون هناك تراكم للمياه الجوفية. ولكن النقص في رطوبة التربة يختلف عند مختلف النقط، والمطر الساقط سوف يمونه بمعدلات مختلفة عند مختلف النقط. لذلك فإن في نفس حوض الصرف، يكون من الممكن جدًا أن تراكم المياه الجوفية بعيدًا عن نقطة، بينما النقص في رطوبة التربة يظل موجودًا في نقطة أخرى.

٦- الرطوبة المكافئة: Equivalent Hoisture

حيث أن الطاقة الحقلية هي الماء المحتجز بالتربة المشبعة بعد تأثرها بالجاذبية، بالمثل الرطوبة المكافئة هي الماء المحتجز بالتربة المشبعة بعد حدوث الطرد المركزي بقوة طرد مركزي تعادل ١٠٠٠ ضعف للجاذبية. لذلك فإنه يكون أقل قليلاً أو غالبًا ما يساوي الطاقة الحقلية.

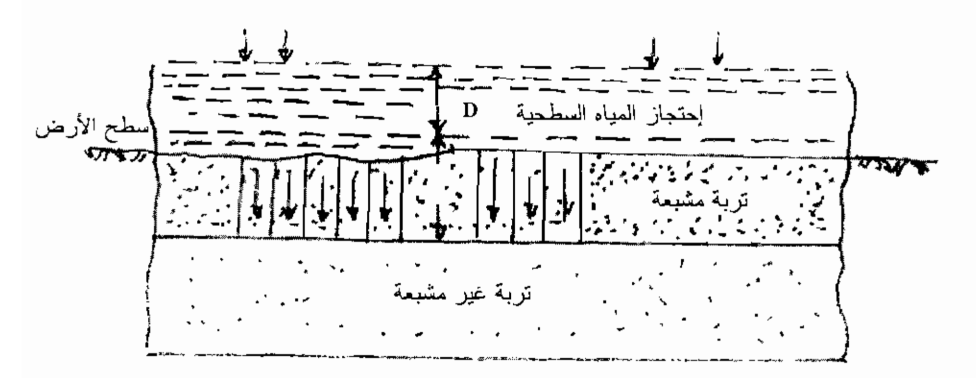
٧- العوامل المؤثرة على طاقة الرشح والتسرب:

طاقة تكوينات التربة لامتصاص الماء تعرف بطاقتها للرشح أو التسرب (f). وهي ليست عامل ثابت. وهي تتغير مع الوقت ومع المكان – قيمة (f) في أي وقت معين ومكان معين هي محصلة تأثير تفاعل مختلف العوامل. بعض من هـذه العوامـل يغير قيمة (f) مع تغير المكان، والبعض الآخر يغيرها من وقت إلـى آخـر عنـد مقطع معين. توجد عوامل أخرى معينة مثل الغطاء النباتي التي يمكن أن يغير قيمة (f) مع كل من المكان والوقت. العوامل المختلفة التي تؤثر علـى قيمـة (f) يـتم تناولها كالآتي:

أ- سمك التشبع وعمق الاحتجاز السطحي:

Thickness of the Saturated layer and The Depth of surface Detention:

المياه تتسرب نحو الأرض تحت تأثير قوى الجاذبية، حيث توجد طبقة من التربة قرب السطح ذات فراغات خلالية مشبعة. إذا كان سمك طبقة التربة المشبعة هذه عند أي وقت وعند مقطع معين (L)، عندئذ فإن الماء سوف يتدفق خلال سلـسلة من أنابيب رقيقة ذات طول (L) كما هو موضح في الشكل (٢/٥).



شكل (٢/٥) سمك التشبع وعمق الاحتجاز السطحى

عند قمة كل أنبوب، يكون الضغط الرأسي مساويًا لـ (D) (أي مـساويًا للحجـز السطحي) وإجمالي الضغط الرأسي المسبب للتصرف هو (D+L). وعلى الجانب الآخر، مقاومة التدفق التي تسببها التربة تكون متناسبة مع (L).

لذلك:

القوة (F) المسببة للصرف α (D+L)

ومقاومة التدفق (R) α L

إذا أن (L) كبيرة مقارنة بـ (D)، فإن التغيرات في (L) سوف يكون لها تقريبًا تأثير مساوي في القوة والمقاومة، وأن معدل الرشح يكون ثابتًا تقريبًا.

ولكن، مع بداية المطر يمكن أن تكون كلاً من (D)، (L) بنفس المقدار، في هذه الحالة، تكون القوة كبيرة مقارنة بالمقاومة، وأن الماء سوف يدخل التربة بسرعة. ولكن مع مرور الوقت، سوف تزيد (L) عن (D) ولذلك، فلا يكون هناك اختلاف كبير بين مقادير كلاً من (F)، (R) ولذا فإن معدل الرشح والتسرب يقل. هذه هي أحد الأسباب حيث لماذا (f) تكون كبيرة نسبيًا عند بداية المطر.

ب- رطوبة التربة Soil Moisture

كمية رطوبة التربة لها تأثير هام على طاقة الرشح. تأثيرات رطوبة التربة على قيمة (f) هي تأثيرات مضاعفة كالآتي:

أ – في بداية الشتاء أو الربيع يكون محتوى التربة من الرطوبة بصفة عامة عاليًا ومقدار (f) يكون منخفضًا، بينما في فصل الصيف، يكون محتوى التربة من الرطوبة منخفضًا، ولذا فإن مقدار (f) يكون عاليًا. عندما تكون التربة جافة، يزداد الرشح، وذلك للأسباب الآتية:

عند سقوط المطر على تربة جافة، فإن السطح العلوي يصبح مبللاً، بينما الأجزاء السفلى من هذه التربة تظل عالية الجفاف نسبيًا. لذلك، فإنه يوجد فرق كبير في جهد الخاصية الشعرية (Capillary potential) ما بين الأسطح العليا للتربة وتلك أسفلها. بسبب هذا الفرق من جهة الخاصية الشعرية فإن قوة الاتجاه إلى أسفل (Downward force) سوف تعمل على الماء والتي ستكون بالإضافة إلى قوة الجاذبية. لذلك، فإن الماء سوف يتحرك إلى أسفل

بفعل قونين، ولذا سيكون سريعًا. مع مرور الوقت، يصبح السطح السفلي للتربة مبللاً كذلك، وهذا الفرق في جهد الخاصية الشعرية سيستمر في الانخفاض، ومن ثم سوف يستمر الرشح والتسرب في النقص مع استمرار الزيادة في رطوبة التربة.

ب – التأثير الثاني لرطوبة التربة على (f) يكون عكس الأول – عندما تصبح التربة مبللة ورطبة، فإن الغرويات (Colloids) الموجودة في التربة سوف تنتفخ في الحال، وبذا تنخفض طاقة الرشح خلال الفترة الأولى لسقوط المطر. هذا هو أحد الأسباب لماذا أنه يوجد إنخفاض كبير في قيمة (f) أثناء المطر. لذلك، فإن هذا العامل يكون مسئولاً عن الكثير من التغيرات الموسمية في قيمة (f) وكذلك كجزء من الخفض السريع في (f) أثناء المطر.

جـ – الدمك خلال المطر Compaction During Rain

عند سقوط المطر فوق التربة، فإنه يحدث دمك ميكانيكي للتربة. هذا الدمك يقلل الفراغات في التربة ذات الحبيبات الدقيقة مثل الطفلة وبالتالي يقلل طاقتها في الرشح والتسرب. يمكن إنتاج عدة تأثيرات بهذه الطريقة على تربة الطفلة المعرضة، والتي عند الدمك تصبح غير مسامية ولكن طاقة الرشح للتربة الرملية النظيفة يكون تأثيره قليلاً نتيجة دمك المطر.

هذا هو العامل الآخر المسبب لانخفاض طاقة الرشح سريعًا خلال الجزء الأول من العاصفة الممطرة.

د – غسيل الحبيبات الدقيقة Washing of Fines

عندما تصبح التربة شديدة الجفاف، فإن السطح عادة يحتوي على العديد من الجسيمات الدقيقة. عند سقوط المطر وبدأ الرشح فإن تلك الجسيمات الدقيقة يتم دفعها إلى أسفل في التربة، حيث ترسب في الفراغات، وبذا تقلل من طاقة الرشح. هذا العامل يقلل كذلك من (f) أثناء المطر.

هـ- الدمك بفعل الإنسان والحيوان وتحرك الأحمال الحية الأخرى:

عند تحرك تلك العناصر فإن التربة تصبح غير مسامية وبذا تنخفض قيمة (f).

هـ-الغطاء النباتي Vegetation Cover

هذا العامل مرتبط بالعديد من العوامل التي تم وصفها مسبقا، ولكن هـذا العامـل هو الأكثر أهمية.

ضغط الغطاء النباتي الكثيف فوق التربة، يزيد من طاقة الرشح والتسرب لتلـك التربة بدرجة كبيرة. في وجود الغطاء النباتي، يكون المطر غير قادر على دمك التربة، وكذلك يوفر طبقة من المواد العضوية القابلة للتحلل والتي تـساعد علـى نشاط الحشرات المدفونة والحيوانات والتي بالتالي تنتج تربة ذات مسامية. كـلا هذين العاملين يساعدان في زيادة طاقة الرشح وبالتالي فإن وجود الغطاء النبـاتي يسبب زيادة في طاقة الرشح لذلك فإن تلك التربة المحمية قد يكون لها أضـعاف طاقة الرشح. مقارنة بحالة كونها قاحلة. كذلك، فإن النتح بواسطة النبـات يزيـل رطوبة التربة وبذا يعمل على زيادة (f) خلال المراحل الأولى للمطر.

الحاصلات العرضه توفر حماية قليلة من دمك المطر وتعمل فقط في إنتاج غطاء جزئي من المواد العضوية، حيث تكون النتيجة أن (f) قد تكون منخفـضة نـسبيًا في المساحات المغطاة بتلك المحاصيل.

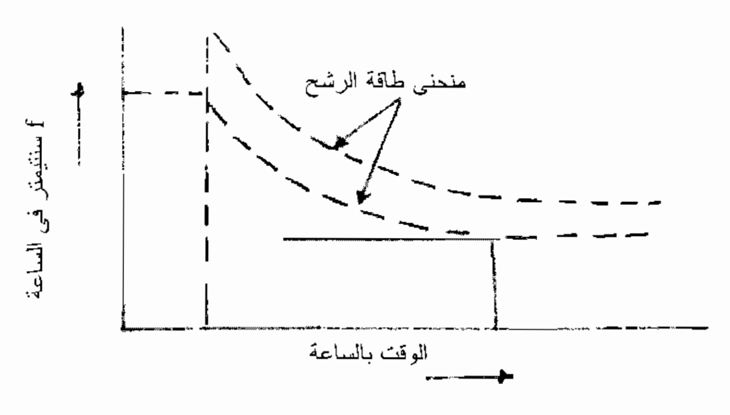
و – درجة الحرارة:

تتغير لزوجة الماء مع درجة الحرارة. لذلك فإن الفراغ في التربـة يكـون فـي الغالب تطابقي (Laminar)، ومعدل الرشح سوف يتغير كذلك مع اللزوجة. لـذلك فإن (f) تتغير مع درجة الحرارة. هذا العامل يسبب انخفاض قيمة (f) إلى حد ما في الشتاء وأعلى قليلاً في الصيف.

٨- منحنى طاقة الرشح In filtration Capacity Curve

منحنى طاقة الرشح هو التمثيل البياني لكيفية تغير طاقة الرشح مع الوقـت خـلال وبعد المطر بقليل.

كما تم ذكره سابقًا، تكون طاقة الرشح عاليه جدًا عند بداية عاصفة المطـر التـي تحدث بعد فترة طويلة من الجفاف. أثناء العاصفة الممطرة تقل طاقة الرشح كثيـرًا لعدة أسباب منها، الحجز السطحي، رطوبة التربة، الدمك بسبب المطـر، غـسيل الجسيمات الدقيقة.. إلخ كما تم شرحه سابقًا. بعد فترة زمنية معينة (من ١ إلـى ٣ ساعات) فإن طاقة الرشح تميل إلى أن تصبح ثابتة مثال لمنحنـى طاقـة الرشـح موضح في الشكل (٣/٥).



شكل (٣/٥) منحنى طاقة الرشح

٩- طرق حساب طاقة الرشح:

تستخدم طريقتين لتعيين طاقة الرشح:

أ- الطرق التجريبية، باستخدام محاكاة المطر أو مقاييس الرشح.

ب-بتحليل جهاز جمع وتحليل المطر الساقط والمخطط البياني للتدفق.

الطريقة الأولى تتكون من الاستخدام الصناعي للماء على التربة المطلـوب تعيـين طاقة الرشح لها، ثم ملاحظة وتحليل الرشح الحقيقى. هـذه الطريقـة ليـست ذات

أهمية في تعيين قيمة طاقة الرشح والتي يلزم إعادة استخدامها لحساب التدفق من نفس الحوض أومن حوض مشابه. هذا لأن النتائج التي يتم الحصول عليها باستخدام أجهزة قياس الرشح (Infitometers) هي نوعية وليست كمية. بمعنى أن الطريقة مفيدة في تعيين التأثيرات النسبية لأي تغير في استخدام الأرض، الميل، الغطاء النباتي.. إلخ.. القيم العددية لمقدار (f) التي يتم الحصول عليها بهذه الطريقة قد تكون غير صحيحة إلى حد ما. لذلك، فإنه للحصول على قيمة مدققة ل ــ (f) والتي يمكن إعادة استخدامها لحساب التدفق، فإن الطريقة الثانية هي التي تستخدم عادة.

قبل وصف تلك الطريقة، فإننا سوف نفرق بين مصطلحين وهما مستجمع الماء الصغير (Small water shed) ومستجمع الماء الكبير (Large Water shed).

مستجمع الماء الصغير:

مستجمعات الماء الصغيرة هي أحواض الصرف صغيرة الحجم إلى درجة أن شدة المطر يمكن أن تعتبر متجانسة فوق كل الحوض. مساحة مثل هذا الحوض تتراوح ما بين القليل من الهكتارات إلى حوالي ٢٥٠٠ هكتار. مثل هذا الحوض سوف يستجيب سريعًا لسقوط المطر، وبذا، فإن كل فترة من شدة سقوط المطر يحتمل أن تنتج ذروة منفصلة في المخطط البياني للتدفق.. مثل هذه الأحواض يتم مصادفتها عمومًا في تصميم البرامج تحت الكباري أو السكة الحديد (Culverts) أو مواسير تجميع الأمطار، الكباري الصغيرة ... إلخ.

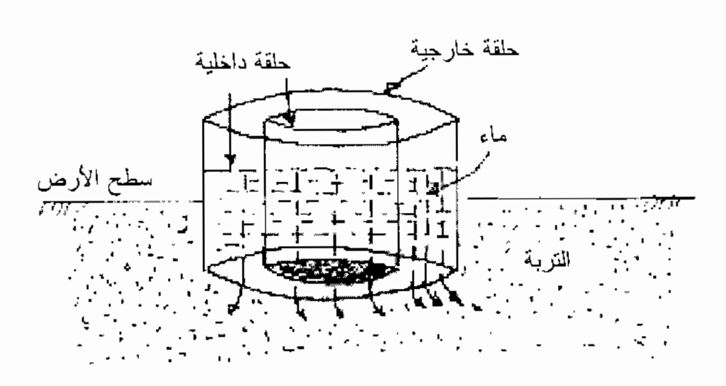
مستجمع الماء الكبير:

أحواض الصرف الكبيرة هي أحواض ذات أبعاد أطول، ولذلك، تكون أكبر عن تلك المستخدمة في دراسة شدة المطر ليكون متجانسًا فوق كل الحوض. وهذه تستخدم عمومًا في إنشاء أعمال الحماية من الفيضان (مثل السدود .. إلخ)، مشروعات الري، الإمداد بالماء.. الخ وهكذا.

أ – تعيين طاقم الرشح باستخدام أجهزة قياس الرشح ومحاكاة المطر:

Determination of I.C. By using Infiilometers and Rain Simulators:

يستخدم العديد من أنواع أجهزة القياس الرشح لقياس (f). النوع المستخدم عادة يتكون من حلقتين من المعدن ذات مركز واحد كما في الشكل (٥/٤). ويوضع على الأرض حيث الجزء العلوي يكون بارزا فوق الأرض، والجزء السفلي يقع تحت الأرض. يتم ملئ كلا الغرفتين بالماء عند نفس المستوى.



شكل (٥/٤) نموذج لمقياس التدفق

الحلقة الخارجية تمنع ماء الحلقة الداخلية من الانتشار فوق مساحة كبيرة بعد الاختراق أسفل قاع الحلقة. المعدل المطلوب لإضافة الماء إلى الحلقة الداخلية للمحافظة على ثبات المنسوب، سوف يعطي مباشرة فكرة نحو طاقة الرشح.

لإمكان الاقتراب من الحالات الحقيقية، يتم أحيانًا عمل إختبار المطر الصناعي. الجهاز المستخدم للمطر الصناعي يسمى محاكى المطر (Rain Simulator) بمساعدة المحاكى يتم رش الماء بمعدل ثابت وزائد عن طاقة الرشح، فوق مساحة معينة تجريبية. الإطار العام للتدفق الناتج يتم ملاحظته، ومن ذلك يتم عمل المنحنى (f). المنحنى (f) هذا يمكن عندئذ إعادة استخدامه لتعيين التدفق من الحوض، الذي تم عمل الاختبار عليه.

ب – تعيين منحنى طاقة الرشح لأحواض الصرف الصغيرة (طريقة هورنارد، ليود).

هذه الطريقة تتكون من تحليل شدة المطر والمخطط البيـاني للتـدفق. أحـواض الصرف الصغيرة سريعة الاستجابة لشدة المطر، ولذلك فإن كل فتـرة مـن الـسقوط الشديد للمطر يحتمل أن تنتج ذروة منفصلة في المخطط البياني الناتج للتدفق. الفـرق بين سقوط المطر خلال فترة زمنية معينة من الوقت والتدفق الناتج سوف يعطي كمية الرشح (F) خلال تلك الفترة. يتم عندئذ قسمة كمية (F) على الوقت الذي حدث خلالـه هذا الرشح، للحصول على قيمة (f) خلال تلك الفترة رياضيًا يمكن كتابة:

$$F = P - Q$$

$$f = \frac{F}{t} = \frac{P-Q}{t}$$

حيث:

P = إجمالي المطر

D = إجمالي التدفق

t = الوقت الذي حدث خلاله الرشح.

نحن نعرف كذلك أن المطر الزائد يظهر في شكل التدفق السطحي، ولكـن فقـط بعد بعض التأخير. بمعنى آخر، فإنه يوجد تخلف بين وقت حدوث سقوط المطر ووقت ظهور هذا الماء في شكل تدفق سطحي عند مخرج الحوض. لذلك، فإن الرشـح يبـدأ عند بداية زيادة سقوط المطر ويستمر ليس فقط حتى نهاية المطر ولكن لوقـت زائـد حتى بعد المطر. بعد نهاية سقوط المطر الزائد، يحدث الرشح من كل المساحة، ولكن بعد ذلك، تقل المساحة. بمعنى آخر، مساحة الرشح تأخذ في النقصان باستمرار خـلال هذا الوقت الزائد. بالنسبة لأحواض الصرف الصغيرة، فلقد اقترح أن الرشـح الـذي يحدث خلال هذا الوقت الزائد، يكون مكافئًا لكمية الرشح التي تحدث فوق كل المساحة لفترة مساوية لثلث هذا الوقت الزائد (أي الوقت الممتد من نهاية المطر الزائـد حتـى

نهاية التدفق فوق الأرض). كذلك فقد اقترح (Horton) أن هذا التدفق فوق الأرض يتوقف عند نقطة انعطاف أو ثني المخطط البياني المائي. من إطار شدة المطر، الوقت عند توقف المطر الزائد، يكون معروفاً. ومن نقطة الانعطاف لمخطط التدفق، الوقت عند توقف التدفق فوق الأرض، يكون معروفاً كذلك. الفرق بين هذين الوقتين سوف يعطي هذا الوقت الزائد، عند إضافة ثلثه إلى فترة سقوط المطر الزائد، سوف يعطي إجمالي الوقت للرشح (t) الذي يتم استخدامه في المعادلة السابقة.

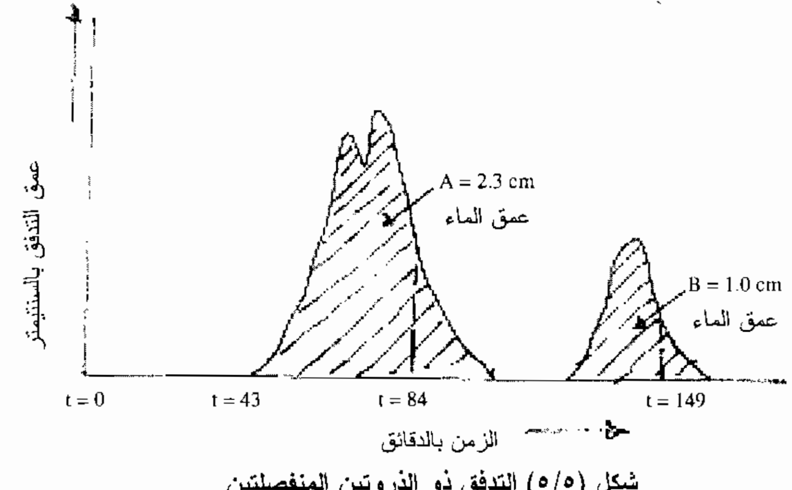
مقادير (f) يتم حسابها بهذه الطريقة لمختلف فترات شدة سقوط المطر وتوقيعها عند مسافة (t ÷ ٢) بعد بداية فترات سقوط المطر الزائد. يتم عندئذ رسم منحنى خلال تلك النقط، وذلك للحصول على منحنى طاقة الرشح. الطريقة تصبح أكثر وضوحاً عند حل المثال الآتي:

مثال:

معدلات سقوط الأمطار على حوض صرف صغير تم ملاحظتها خلال عاصفة لفترة زمنية مدتها ١٤٥ دقيقة. وتم جدولتها كالآتي:

الوقت منذ البداية بالدقيقة	٢٠	٤٠	٦٠	٨٠	١٠٠	١٢٠	١٤٠	١٤٥
معدل سقوط المطر سم/ الساعة	٢,٠	١٠	٧,٥	١,٥	١,٥	٥	١,٠	صفر

التدفق الناتج عند مخرج الحوض تم ملاحظته وتوقيع المخطط البياني المائي. وجد أن المخطط البياني لهذا التدفق له ذروتين منفصلتين من النوع الموضح في الشكل (٥/٥). الجزئين (A)، (B) من المخطط وجد أنهما يحتويا على مساحة ذات عمق ٢,٣سم، ١سم من الماء، على التوالي. نقطة الانعطاف للأجزاء وجوانبها هي عند (t) = ٤٨ دقيقة عند (t) = ١٤٩ دقيقة على التوالي.



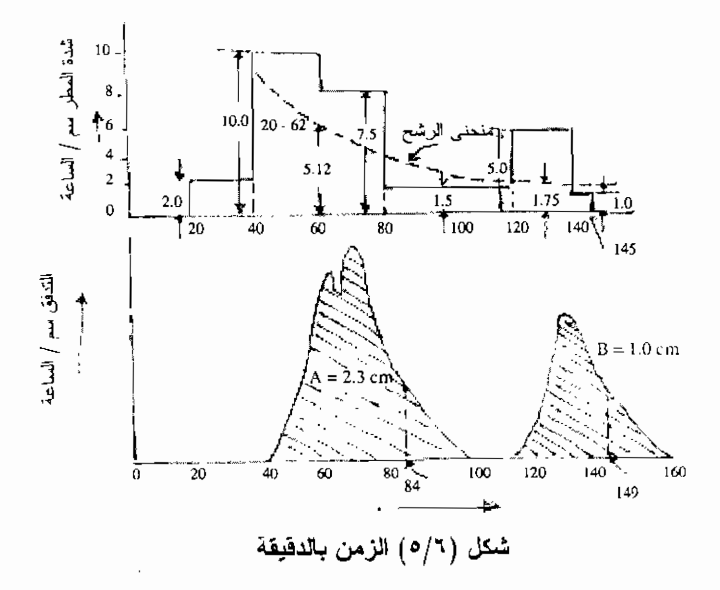
شكل (٥/٥) التدفق ذو الذروتين المنفصلتين

من تلك البيانات لتدفق سقوط الأمطار، احسب منحنى طاقة الرشح وتوقيعه على المخطط البياني للمطر.

الحل:

أولاً، يتم توقيع مخطط المطر من معدلات سقوط المطر التي تمت ملاحظتها كما في الشكل (٦ – أ/٥).

كذلك يتم توقيع المخطط الملاحظ للتدفق أسفل المخطط كما في الشكل (٦-ب/٥).



شكل (٥/٦) الزمن بالدقيقة

يتضح من مخطط سقوط المطر أنه يوجد فترتين لسقوط المطر الكثيف (أي من t = ٤٠ إلى t = ٨٠، و t = ١٢٠ إلى t = ١٤٠ دقيقة) والذي يمكن اعتبارهم كفترات السقوط الزائد للمطر. يتم الرمز لهم كفترة زمنية (a)، فترة زمنية (b).

كمية المطر خلال الفترة (a) =

$$Pa = \left(10.0 \times \frac{20}{60} + 7.5 \times \frac{20}{60}\right)$$

$$= \frac{17.5}{3} = 5.83$$

كمية المطر خلال الفترة (b) =

$$Pb = 5.0 \times \frac{20}{60} = 1.67 \text{ cm}$$

Q_a = التدفق خلال الفترة (a)

= المساحة تحت المخطط (A)

= ٢,٣ سم (معطى)

Q_b = التدفق خلال الفترة (b)

= المساحة تحت المخطط (B)

= ١٠ سم (معطى)

F_a = الرشح خلال الفترة a =

$$= P_a - Q_a = 5.83 - 2.3 = 3.53\text{cm}$$

F_b = الرشح خلال الفترة (b)

$$= P_b - Q_b - 1.67 - 1.0 = 0.67\text{cm}$$

الآن:

لتعيين زمن الرشح لتلك الفترتين:

t_a = فترة المطر الزائد + $\frac{\text{الوقت الزائد}}{٣}$

= ٤٠ دقيقة + $\frac{٨٠-٨٤}{٣}$ دقيقة

∵ t = ٨٤ دقيقة يكون نقطة الانعطاف و

t = ٨٠ دقيقة. يكون الوقت عند نهاية فترة سقوط المطر الزائد

= ٤١,٣٣ دقيقة

= $\frac{٤١,٣٣}{٦٠}$ ساعة

بالمثل (t_b) =

= ٢٠ دقيقة + $\frac{١٤٠-١٤٩}{٣}$ دقيقة

= ٢٣ دقيقة

= $\frac{٢٣}{٦٠}$ ساعة

الآن:

$f_a = \frac{F_a}{t_a} = \frac{٣,٥٣}{\frac{٤١,٣٣}{٦٠}} = \frac{٦٠ \times ٣,٥٣}{٤١,٣٣}$ = ٥,١٢ سم / ساعة

، $f_b = \frac{F_b}{t_b} = \frac{٠,٦٧}{\frac{٢٣}{٦٠}}$

= $\frac{٦٠ \times ٠,٦٧}{٢٣}$ = ١,٧٥ سم / الساعة

تلك النقطتين (f_a)، (f_b) يتم تـوقيعهم الآن علـى مـسافات ($\frac{t_b}{2}$) أي ٢٠,٦٧ دقيقة، $\frac{t_b}{2}$ أي $\frac{٢٣}{٢}$ = ١١,٥ دقيقة على التوالي من الفتـرتين لـسقوط المطـر الزائد على المخطط البياني للمطر. يتم توقيع منحنى لطيف خلال تلك النقطتين، والذي يتم امتداده إلى الخلف وبعيدًا، حتى الحصول على منحنى الرشح المطلوب كمـا هـو موضح بالخط المهشر في الشكل (٩ – أ).

الباب الثانى

الفصل السادس

سعة الخزان وتشغيله

Reservoir capacity and Operation

١- المقدمة:

الخزانات هي إنشاءات تقام على الأنهار أو المجاري المائيـــة الطبيعيـــة لحجــز المياه، والتحكم في الفيضانان وتنظيم تدفق المجري ذو كميات التدفق المتغيره خـــلال العام. لذلك فإن الخزان هو مكون أساسي في كل مشروعات الإمداد بالميـــاه والـــري والطاقة الكهربية المائية حيث يقوم بدور هام في جعل المشروع مناسب ويعتمد عليه.

٢- تقسيم الخزانات:

المهمة الرئيسية للخزانات هي توفير التخزين للاستخدام في واحد أو أكثـــر مـــن الأغراض الآتية وهي، الري، توليد الطاقة الكهربية، الإمـــداد بالميـــاه للاســـتخدامات المنزلية والصناعية، تنظيم منسوب المياه للملاحة، الترويح، تربيـــة الأســـماك. طبقـــا للغرض المطلوب فإنه يمكن أن تنقسم الخزانات إلى الخزانات ذات الغـــرض الواحـــد والخزانات متعددة الأغراض.

١- الخزانات ذات الغرض الواحد (Single Purpose Reservoirs

الخزانات ذات الغرض الواحد مثل حفظ التدفق وإحكامه. إذا كانـــت للحفـــظ فـــإن الخزان يسمى خزان الحفظ للغرض الواحد وإن كان للتحكم فالخزان يسمى خـــزان الغرض الواحد للتحكم.

خزانات الحفظ يتم إنشاؤها لتخزين المياه خلال فترات التدفق العـالي للاسـتخدام خلال فترات الجفاف عندما يزيد الطلب مع عدم التخزين الطبيعي للمياه. الوظيفـة الرئيسية لتلك الخزانات هي لتثبيت التدفق من خلال تنظيم الإمـداد بالميـاه فـي المجرى الطبيعي. إذا كان الغرض هو تحقيق المتطلبات المتغيـرة خـلال اليـوم بواسطة المستهلكين في المدينة فإن الخزان يسمى خزان التوزيع.

طبقًا لنظام إطلاق المياه المخزنة، فإنه خزان الغرض الواحد للتحكم في الفيـضان يمكن تقسيمه كخزانات تـأخير وخزانـات مكـوث (Retarding Reservoirs and Detention Reservoirs).

خزان التأخير يتم تجهيزه بمخارج بدون حاجز متحـرك (Ungated) حيـث يـتم التنظيم الآلي للتدفق الخارج طبقاً لحجم المياه في الخزان. المخـرج يكـون عـادة مكوناً من مفيض (spillway) أو واحد أو اثنين من بوابات الـتحكم بـدون حـاجز متحرك (Ungated Sluices). مميزات خزان التأخير هى: (١) عدم الحاجـة إلـى العامل البشرى فى تشغيل الخزان (٢) عدم استخدام البوابات المكلفة.

العيب الرئيسى هو أن التنظيم الآلى قد يسبب تطابق ذروات الفيضان فـى اتجـاه المصب، وبذا يعيق استخدامه فى المجارى الصغيرة نسبيا.

خزان الحجز (Detention) يكون مجهزاً بالمحابس والبوابـات لتنظـيم التـصرف الخارج من الخزان خلال المخرج. الخزان يحتجز الماء مؤقتاً لإمتصاص الفيضان القادم ويتم تحرير الماء المخزن بطريقة محكمة بما لا يسبب فيضان فى القنـوات فى إتجاه المصب. بسبب التحكم فى الخروج، فإنه توجد مرونة أكبـر فـى عمـل الخزان. لذلك، فإن نوع الخزان هذا وجد أنه أفضل ومناسب فى حالـة المجـارى الضخمة. العيوب هى:

(١) إحتمال الخطأ البشرى فى تشغيل الخزان.

(٢) تكلفة عالية بسبب وجود البوابات وإنشاءات البوابات.

٢- الخزانات متعددة الأغراض: (Multi Purpose Reservoirs)

الخزانات متعددة الأغراض يتم إنشاؤها لخدمة أكثر من غرض واحد أساسى مثل الرى، الطاقة المائية، الإمداد بالمياه، الملاحة، التحكم فى الفيضان، الترويح والمحافظة على بقاء الأحياء البرية. لذلك، فإن الخزان متعدد الأغراض قد يجمع التحكم فى الفيضان مع تخزين المياه للرى وتوليد الطاقة.

يمكن ملاحظة أن مشروع الخزان المصمم لغرض واحد والذى يكون قادراً على توفير فوائد طارئة لأغراض أخرى لايتم إعتباره مشروع متعدد الأغراض. تحديداً تلك المشروعات حيث تكون الخزانات مصممة وتعمل لخدمة غرض أو أكثر يتم اعتبارها متعددة الغرض.

٣- إختيار الموقع للخزان:

اختيار الموقع المناسب للخزان يحكمه عدد من العوامل الطبوغرافية، الجيولوجية، والاقتصادية كالآتى:

(١) يجب وجود الموقع المناسب للسد. فتحة الوادى الضيقة تحقق الطول القصير للسد، بما يقلل من التكلفة الكلية للمشروع.

(٢) وادى النهر يجب أن يكون متسعاً فوق موقع السد وذلك لزيادة التخزين للمياه لوحدة الإرتفاع بما يحقق الطاقة المناسبة للخزان.

(٣) يفضل أن يكون الخزان عميقاً. الخزان الضحل يسبب زيادة فى الفقد بالبخر، زيادة فى استغلال الأراضى كما أنه يكون معرضاً لنمو الأعشاب.

(٤) يجب عدم وجود الكثير من نمو النباتات والمستنقعات خلال المنطقة والذى يفسد نوعية المياه.

(٥) كلما أمكن ذلك يجب أن يكون الموقع بعيدًا عن روافد النهر وذلك لمنع دخول الرواسب في الخزان.

(٦) يجب أن يكون الموقع من التكوينات الصخرية غير المسامية وذلك لخفض التسرب من قاع الخزان. رغم أن أجناب الخزان تكون ذات نفاذية في الغالب، إلا أن مستوى النفاذية يكون منخفضًا إلى حد ما. ولكن، إذا كانت الأجناب من الصخور المتشققة أو من الحجر الجيري المثقب، فإنه يتم الفقد لكميات كبيرة من المياه من خلال التسرب.

(٧) كلاً من جسور الخزان والأكتاف من التلال الملتصقة يجب أن تكون تامة الإستقرار لمنع حدوث انزلاق التل أو تحرك مادة التربة نحو الخزان.

(٨) الأراضي التي سوف يتم إغراقها في الخزان يجب أن تكون ليست ذات قيمة عالية حيث تكون تكلفة التعويض غير مرتفعة.

(٩) برغم أن موقع الخزان يجب أن يكون سهل الاقتراب منه بواسطة الطرق، والسكك الحديدية وله أحياء سكنية لإعاشة العاملين، فإن التكلفة يجب أن تكون غير عالية.

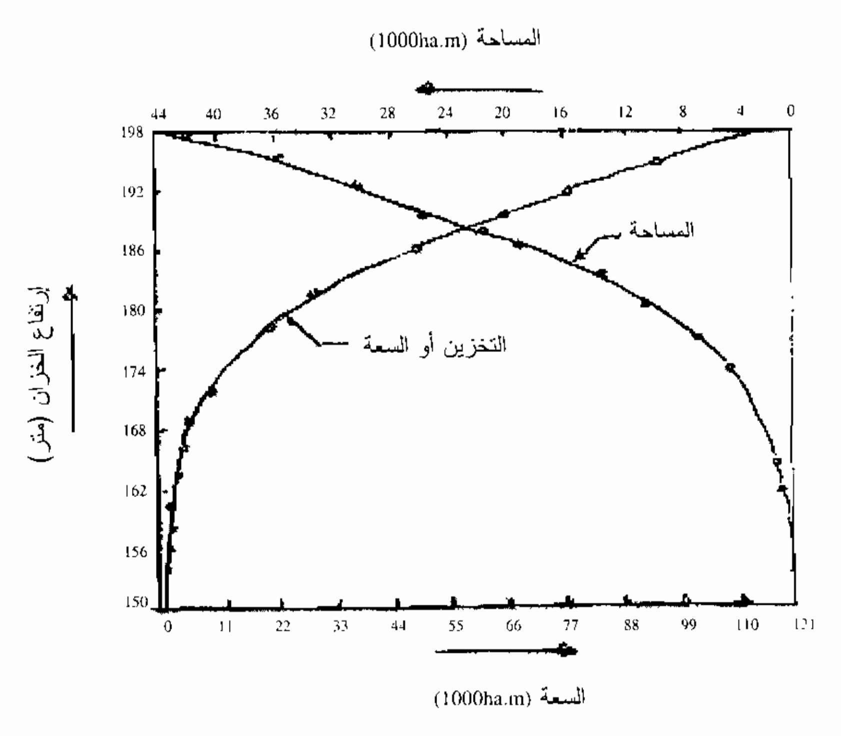
٤- أبحاث الموقع (Site Investigations)

يتم عمل الأبحاث الحقلية لتعيين الخواص الطبيعية للخزانات حيث أهمها هو طاقة التخزين للخزانات. تتضمن الأبحاث الخطوات الآتية:

أ – الدراسة الطبوغرافية لمساحة الخزان وذلك لإعداد الخريطة الطبوغرافية لموقع الخزان. وهذه قد تتضمن أنواع مختلفة من الاستطلاعات الهندسية مثل المسح باللوحة المستوية (Plane Table survey) والمسح الجانبي (Traverse Survey)، والمساحة الجوية والتصوير الجوي.

ب – إعداد خريطة كنتورية للموقع وتعيين مساحات الانتشار للمياه التي تحتويها الكنتورات المتتالية.

جـ- توقع مساحة انتشار المياه مقابل ارتفاعات الخزان. وهذه تسمى منحنى المساحة – الارتفاع (Area – Elevation Curve) أو منحنى مساحة الخزان (Reservoir Area Curve) شكل (٦/١).



شكل (٦/١) منحنيات المساحة وارتفاع التخزين

د- يتم تكامل ودمج منحنى المساحة – الارتفاع للحصول على ارتفـاع التخـزين (Storage Elevation) أو منحنى سعة الخزان (Capacity curve).

لذلك فإن تزايد الطاقة بين إرتفاعين يتم حسابه عادة بضرب متوسط المساحتين عند الارتفاعين في فرق الارتفاع كالآتي:

$$V = \frac{H}{2}\left(A_1 + A_2\right) \qquad (1)$$

وهذه هي معادلة القطع المكافئ.

هـ- تجميع تلك الزيادات أسفل أي ارتفاع هو طاقة التخزين أسفل هذا المستوى.

حجم التخزين أو طاقة التخزين البديل لإمكان تعيينها بيانات المساحة الكنتورية المأخوذة على فترات متساوية بمساعدة أي من المعادلات التالية: هـذا يعطـي

الحجم بين الكنتورات المتجاورة والتي عندئذ يتم إضافتها لمساحات الكنتور المتتالية للحصول على طاقة التخزين للخزان.

معادلة كون (Cone Formula)

$$V = \frac{H}{3}\left(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 + A_2}\right)$$

معادلة سمبسون (Sumpson Fomula)

$$V = \frac{H}{6}\left(A_1 + A_2 + 4A\right)$$

حيث:

V = الحجم بين الكنتورات المتجاورة

H = الفاصل الكنتوري

A1، A2 = مساحة كنتورين

A = مساحة الكنتور المتوسط بين A_1 ' A_2

الطريقة سيتم توضيحها خلال المثال التالي:

مثال:

خزان يلزم إنشاؤه عند موقع السد تم استطلاعه ووجدت له البيانات الطبوغرافية الآتية:

الارتفاع بالمتر	١٥٠	١٥٣	١٥٦	١٥٩	١٦٢	١٦٥	١٦٨	١٧٠
المساحة بالألف هكتار	صفر	٠,٠١٥	٠,٠٩	٠,٢٦	٠,٦٥	١,٦	١,٩٢	٣,٤٢
الارتفاع بالمتر	١٧٤	١٧٧	١٨٠	١٨٣	١٨٦	١٨٩	١٩٢	١٩٥
المساحة بالألف هكتار	٤,٤	٦,٩	٩,٢٥	١٣,١	١٧,٢٥	٢٣,٣	٢٩	٣٤,٥
الارتفاع بالمتر	١٩٨							
المساحة بالألف هتكار	٤٢							

ارسم منحنى المساحة – الارتفاع وعين منها طاقة التخزين للخزان. كذلك إرسم منحنى طاقة الخزان.

الحل:

الخطوة رقم (١):

من البيانات المعطاه لارتفاع الخزان والمساحات المقابلة كما في الجدول السابق، يتم توقيع منحنى المساحة – الارتفاع الشكل (١)

الخطوة (٢)

يتم تعيين المساحة المتوسطة بين ارتفاعين متتاليين كما هو مبين فى العامود (٣) للجدول (٢).

الخطوة رقم (٣)

يتم ضرب متوسط المساحة (العامود (٣) في فرق الارتفاع (العامود ٤) للحصول على طاقة وسعة الخزان حتى ذلك الارتفاع (العامود ٥). مع تكرار العملية من أسفل إلى أعلى ارتفاع للخزان، فإنه يمكن الحصول على طاقات السعة للخزان المقابل. من الواضح، إن أقصى طاقة سعة أو طاقة تخزين للخزان تكون عند أقصى ارتفاع للخزان.. لذلك فإن طاقة سعة التخزين للخزان هي ١١٤,٧٥ هتكار متري.

الخطوة رقم (٤)

مع قيم طاقة سعة الخزان التي تم الحصول عليها يتم توقيع طاقة الخزان مقابل الارتفاع للحصول على منحنى سعة الخزان شكل (١)

جدول (٢) سعة الخزان من البيانات الطبوغرافية

الارتفاع بالمتر	المساحة ألف هكتار	متوسط المساحة ألف هكتار	فرق الارتفاع بالمتر	سعة الخزان هكتار متر
١	٢	٣	٤	٥
150				
153	0.015	0.007	3.00	0.021
156	0.09	0.052	3.00	0.156
159	0.26	0.175	3.00	0.525
162	0.65	0.455	3.00	1.365
165	1.600	1.125	3.00	3.375
168	1.920	1.760	3.00	5.280
171	3.420	2.670	3.00	8.010
174	4.400	3.910	3.00	11.730

16.950	3.00	5.650	6.900	17700
24.225	3.00	8.075	9.250	180.00
33.525	3.00	11.175	13.100	183.00
45.525	3.00	15.175	17.250	186.00
60.825	3.00	20.275	23.300	189.00
78.450	3.00	26.150	29.000	192.00
95.250	3.00	31.750	34.500	195.00
114.750	3.00	38.250	42.000	198.00

٥- تعاريف عامة:

عند التعامل مع خزان حجز المياه، فإنه يتم استخدام عدد من المصطلحات والتعاريف الأساسية. وهي كالآتي:

أقصى أو إجمالي منسوب الخزان: (Maximum or full Reservoir Level)

أقصى منسوب الخزان هو أقصى ارتفاع حيث يتم التخزين للمياه خلال ظروف التشغيل العادية. وهذا من الطبيعي أن يقابل مستوى قمة المفيض (Spillway Crest).

أدنى منسوب للخزان: (Minimum Reservoir level)

أدنى منسوب للمياه هو أدنى منسوب الذي عنده سحب الخزان عند الحالات العادية. المستوى يكون ثابتًا طبقًا لمستوى أدنى محبس أو مخرج للسد. حيث أن ترسيب الطفل يبدأ في التراكم أسفل هذا المنسوب، فإن هذا يسمى مستوى التخزين الميت (Dead Storage level)

تخزين الحفظ: (Conservation storage)

تخزين الحفظ هو بناء التخزين لحفظ التدفقات الزائدة في النهر للاستخدام خلال فترات التدفقات المنخفضة.

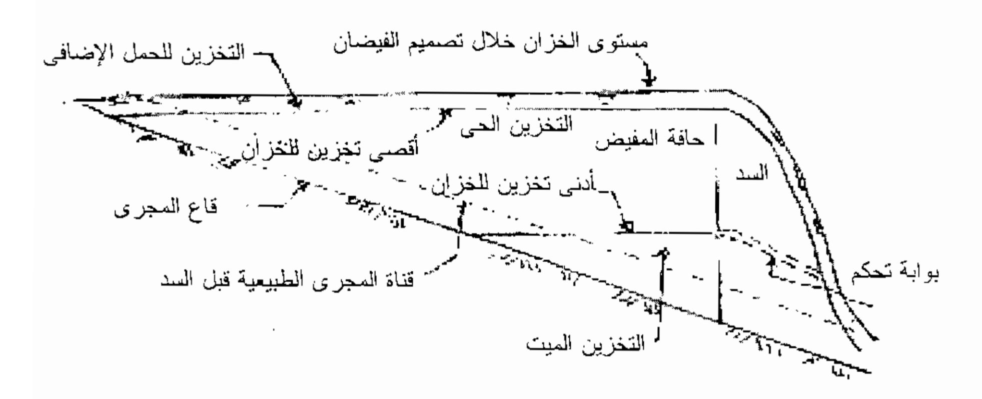
التحكم في تخزين الفيضان (Flood control storage)

التحكم في تخزين الفيضان هو التخزين الذي يتم بحجز بعض من مياه الفيضان للنهر لإطلاقها بسرعة ما أمكن عند انحسار الفيضان، طبقًا لطاقات القناة في اتجاه المصب.

تخزين الوادي(Valley storage)

تخزين الوادي هو حجم الماء المحتوي بواسطة قناة المجرى الطبيعي شكل (٦/٢). حجم الماء يكون متغيرًا أثناء الفيضانات وعندما يفيض الماء فوق الجسور.

فإنه يمكن أن يكون زائد كثيرًا عن المتاح خلال موسم الجفاف عند تدفق المياه بين الجسور. تخزين الوادي عامل هام في تصميم الخزانات ذات السعة الكبيرة للتحكم في الفيضان.



شكل (٦/٢) مقطع فى الخزان يبين مختلف مناطق التخزين

التخزين المفيد أو التخزين الحي (Useful Storage or Life Storage)

التخزين المفيد أو التخزين الحي هو حجم التخزين ما بين أدنى وأعلا منسوب للخزان. في حالة الخزان متعدد الأغراض، يمكن تقسيم التخزين المفيد إلى تخزين الحفظ وتخزين التحكم في الفيضان.

تخزين الحمل الإضافي (Surcharge Storage)

تخزين الحمل الإضافي هو حجم التخزين من ماء الفيضان فوق أقصى مستوى للخزان، والذي يتم صرفه فوق جزء المفيض من السد شكل (٢) تخزين الحمل الإضافي من الطبيعي لا يتم التحكم فيه.

التخزين الميت Dead storage

التخزين الميت هو حجم التخزين أسفل أدنى منسوب للخزان. والذي يكـون غيـر متاح للاستخدام. التخزين الميت يتم توفيره لاحتواء راسب الغرين حيـث بخـلاف ذلك يمكن أن يقلل من طاقة التخزين المفيد للخزان.

التخزين المؤثر (Effective storage)

التخزين المؤثر هو حجم التخزين المتاح لأغراض التصميم. في خزانات الحفـظ، التخزين أسفل أدنى مخرج (Lowest Outlet) ليس مؤثرًا للاستخدام المستهلك. فـي خزانات التحكم في الفيضان، يكون التخزين المؤثر في الخزان هو التخزين المفيـد زائد تخزين الحمل الإضافي ناقص تخزين الوادي. هذا هو التخزين الـذي سـوف تستخدمه مياه الفيضان في حالة عدم إنشاء الخزان.

حصيلة أو إنتاجية الخزان: (Reservoir yield)

إنتاجية الخزان هي كمية المياه التي يمكن إمدادها من الخزان في فترة معينة مـن الوقت. الفترة الزمنية قد تتغير من يوم أو شهر للخزان الصغير إلى عـام لخـزان الحفظ الكبير. الإنتاجية تتوقف على التدفق الـداخل للمجـرى (Stream In Flow) ولذلك تكون متغيرة. الإنتاجية الآمنة أو الثابتة هي أقصى كمية من المـاء تعتبـر متاحة من الخزان خلال الفترة الحرجة والتي هي فترة أدنى تدفق مسجل للمجرى.

٦- تعيين سعة التخزين الحي: Determination of Life Storage Capacity

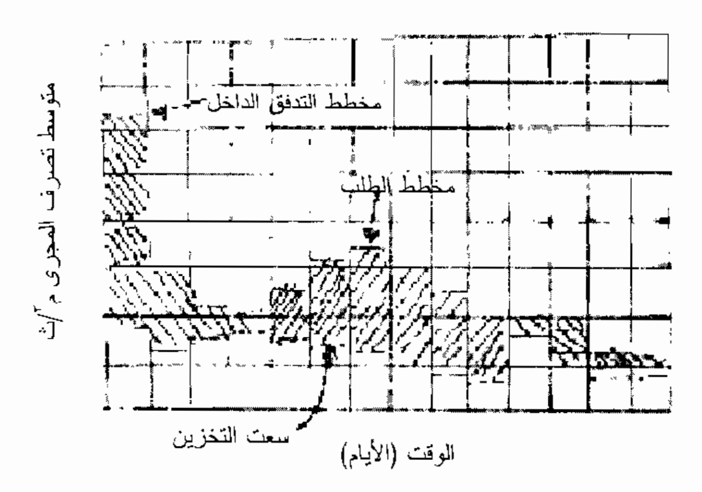
الطريقة التي تم تناولها في البند (٤) تمكن من تعيـين إجمـالي طاقـة التخـزين للخزان. لتقدير طاقة التخزين الحي منها، فإنه يتم حساب التخزين الميت. التخـزين الميت يتم عادة عمله لامتلاء الراسب في الخزان عند استمرار تراكم الغرين خلال السنين.

الطرق التالية تستخدم لتعيين طاقة التخزين الحي للخزان.

أ- تراكب الخرائط المائية للتدفق الداخل للمجرى والطلب:

Super imposition of Hydrographs of stream in Flow and Demand

سعة التخزين الحي يمكن تعيينها من تسجيلات تدفق المجــرى عنـد الموقــع المقترح للخزان. التسجيلات يجب أن تشمل معلومات عــن معــدلات التــدفق الداخل للمجرى ومعدلات الطلب للإمداد بالمياه. قياسات التدفق الداخل للمجرى يجب أن يكون خلال فترة زمنية لا تقل عمومًا عن عام وقد تزيد إذا لــم يــتم تغطية الفترة الحرجة خلالها. الخريطة المائية للتدفق الداخل والتي هي تمثيــل بياني لتصرف المجرى كإحداثي رأسي والوقت كإحداثي أفقي يتم تحـضيرها. بالمثل الخريطة البيانية للطلب أو الاستخدام يتم تحضيرها منفصلة. هنا يمكــن أن يكون خط مستقيم للحمل الأساسي لمشروع الطاقة الكهرومائية أو الملاحــة أو منحنى في الري أو ذروة الحمل لمشروع الطاقة المائية حيث يتغير الطلــب خلال العام. خريطة الطلب عندئذ تتراكب على مخطط التــدفق الــداخل شــكل (٦/٣). المساحة حيث الطلب يزيد عن التصرف تمثل النقص في التدفق الــذي يجب أن يعمل بواسطة التخزين ولذلك تكون طاقة التخزين للخزان.



شكل (٦/٣) تراكب التدفق الداخل والطلب فى شكل مخططات مائية

ب- *طريقة منحنى الكتلة (Mass Curve Method)*

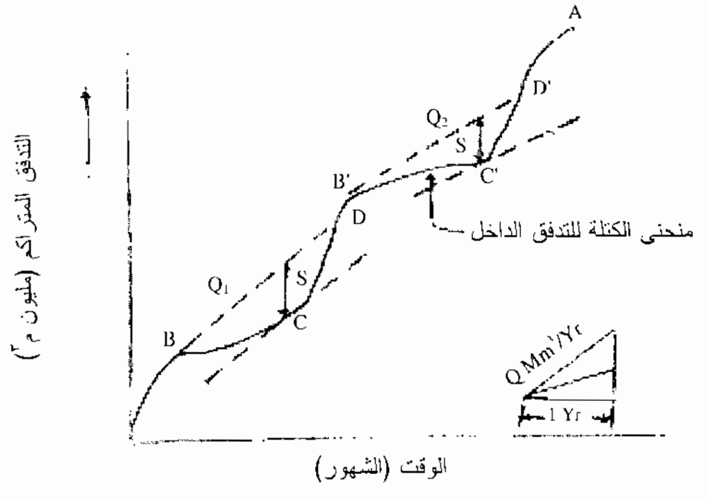
تستخدم طريقة منحنى الكتلة لتعيين طاقة التخزين الحي للخزان، لتحديد التـدفق الداخل للمجرى، فإنه يجب عمل ضبط للبخر وأي فقد آخر من الخزان خـلال فترة التدفق. يتم حساب الفقد الشهري للبخر بطريقة وعاء التبخير التـي سـبق مناقشتها في الفصل (٢). الفقد يتم طرحه من التدفق الطبيعي للمجرى للحصول على صافي التدفق أو حجم التخزين للخزان.

حجم التخزين الذي تم تحديده يحتاج كذلك للضبط وذلك لحساب التخزين الميت أو السعة الميتة. السعة الخاملة (Idle capacity) يتم توفيرهـا وذلـك لاحتـواء ترسيبات الغرين في الخزان ولذلك فإنه يجب أن تضاف إلى التخـزين الحـي للحصول على السعة الكلية للتخزين للخزان. يمكن ملاحظة أن طريقة منحنـى الكتلة تمكن من تعيين سعة التخزين للخزان لتحقيق الطلب في الفترة الحرجـة. قد يكون من الضروري تغطية فترة لسنين جفاف عديدة متتاليـة عـن تعيـين متطلبات التخزين. في بعض الخزانات، يتم تحديد السعة بحيث أن جـزء مـن السعة الحية للخزان يتم ترحيله إلى العام القادم كإجراء للتأمين. في هذه الحالة، فإن ترحيل التخزين هذا (This Carry Over Storage) يمكـن تعيينـه بحـساب متطلبات التخزين لتعاقب سنتين أو ثلاث سنوات جافة متتالية.

٧- تعيين إنتاجية الخزان (Determination of Reservoir yield)

طريقة منحنى الكتلة قد تستخدم لتعيين الإنتاجية من خزان ذو سعة معينة. لـذلك، فإن منحنى الكتلة للتدفق الداخل يتم توقيعه أولاً. يلاحظ كذلك مثل (OA) في الشكل (٤). يتم عندئذ رسم الممارسات من الأطراف (B, B') لمنحنى الكتلة وكـذلك مـن الوديان التالية (C، Ć) بالطريقة حيث أقصى مسافة رأسية أو محـور أفقـي لأي مماس من منحنى الكتلة لا يزيد عن السعة المعطاة للخـزان (S). حيـث أن ميـل المماس هو إنتاجية الخزان لتلك الفترة، فإن الخط الأصغر ميل يبـين الإنتاجيـة الآمنة أو الثابتة للخزان. في الشكل (٤/٦) حيث (Q_2) أقل من (Q_1) (لأن ميل الخط

(B' D') يكون أكثر استواءً عن الخط (BD))، (Q_2) تمثل الإنتاجية الآمنة المطلوبة للخزان.



شكل (٦/٤) إنتاجية الخزان بمنحنى الكتلة

مثال:

متوسط التدفق الشهري الداخل إلى الخزان في سنة جفاف هو كالآتي:

الشهر	متوسط التدفق الشهري م٣/ث	الشهر	متوسط التدفق الشهري م٣/ث
مايو	٢٥	نوفمبر	٧٠
يونية	٦٠	ديسمبر	٤٠
يولية	١٩٠	يناير	١٤٥
أغسطس	٢٢٠	فبراير	٤٥
سبتمبر	٣١٠	مارس	٣٠
أكتوبر	١٨٠	أبريل	٢٠

الصرف المنتظم من الخزان هو ٩٠ متر مكعب / الثانية

<u>عين</u> أ – سعة التخزين الحي للخزان.

ب– سعة التخزين الكلية مع اعتبار حجم التخزين الميت ٢٥ مليون م٣.

الحل:

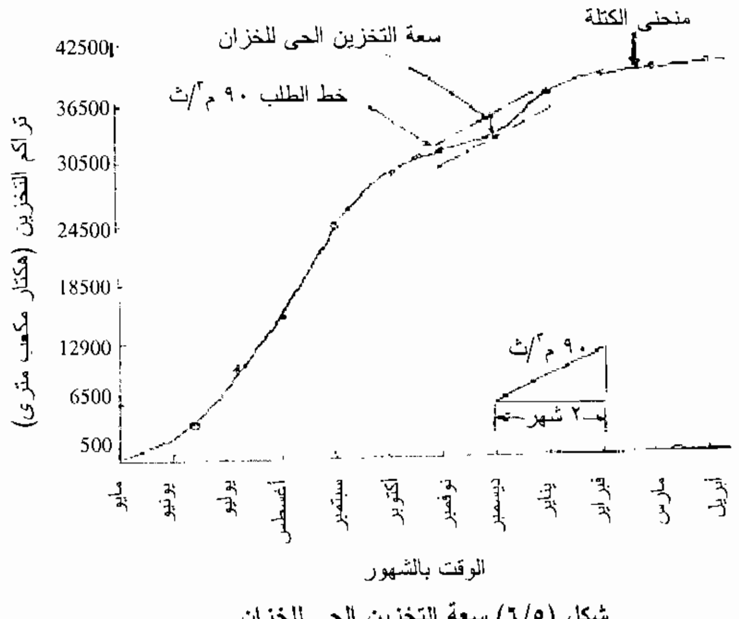
من البيانات المعطاة، حجم التدفق الشهري والحجم المتراكم يتم حسابه كما في الجدول (٢).

جدول (٢) الأحجام وتراكمات التدفق الشهرية

الشهر ١	متوسط التدفق الداخل م٣/ث ٢	حجم التدفق الشهري م٣ / ث في اليوم ٣	الحج لمتراكم متر مكعب/ ث في اليوم ٤
مايو	٢٥	٧٧٥	٧٧٥
يونو	٦٠	١٨٠٠	٢٥٧٥
يولية	١٩٠	٥٨٩٠	٨٤٦٥
أغسطس	٢٢٠	٦٨٢٠	١٥٢٨٥
سبتمبر	٣١٠	٩٣٠٠	٢٤٥٨٥
أكتوبر	١٨٠	٥٥٨٠	٣٠١٦٥
نوفمبر	٧٠	٢١٠٠	٣٢٢٦٥
يناير	٤٠	١٢٤٠	٣٣٥٠٥
فبراير	١٤٥	٤٤٩٥	٣٨٠٠٠
مارس	٤٥	١٢٦٠	٣٩٢٦٠
إبريل	٣٠	٩٣٠	٤٠١٩٠
	٢٠	٦٠٠	٤٠٧٩٠

عند حساب حجم التدفق الشهري، فإنه يتم استخدام الأيام الحقيقية في الشهر. الحجم يتم حسابه بوحدات من المتر المكعب في اليوم.

منحنى الكتلة للتدفق المتراكم مقابل الوقت يتم توقيعه (انظر الشكل (٦/٥).



شكل (٦/٥) سعة التخزين الحى للخزان

في هذا الشكل يفترض أن كل الشهور لمدة متوسطة ٣٠,٤ يوم. خط الطلب (Demand Line) بميل ٩٠ متر مكعب في الثانية يتم رسمه، مماسًا على طرف المنحنى. يتم رسم خط موازي لهذا الخط مماسًا لمنحنى الكتلة عند الجزء المقعر (النهري) من المنحنى. المسافة العمودية بين الخطين المتوازيين هي الخط المطلوب لسعة التخزين للخزان لاستمرار هذا الطلب. على المقياس هذا يقرأ ٢٢٠٠ متر مكعب في الثانية أيام. حيث أن واحد متر مكعب في الثانية يوم = ٨٦٤ متر مكعب، فإن سعة التخزين الحر تكون ١٩٠ مليون متر مكعب.

حيث التخزين الميت هو ٢٥ مليون متر مكعب، فإن سعة الخزان الكلية للتخزين هي ١٩٠ + ٢٥ = ٢١٥ مليون متر مكعب للمراجعة السريعة، يمكن حل المسألة رياضيًا (بدون استخدام الطريقة البيانية) باستخدام الجدول (٣) كل الأعمدة لهذا الجدول هي ذات الشرح الذاتي. اكبر طلب زائد تراكمي مقابل ٢١٩٠ متر مكعب ثانية/يوم كما هو موضح في العامود (٦) يمثل سعة التخزين الحي للخزان.

هذا يتطابق مع القيمة السابقة ٢٢٠٠ متر مكعب ثانية أيام.

جدول (٣) سعة الخزان بالطريقة الرياضية:

الشهر	معدل التدفق المتوسط م٣/ث	حجم التدفق م٣/ث أيام	حجم الطلب م٣/ث أيام	انحراف (٣) - (٤) م٣/ث أيام	التراكم الزائد لحجم الطلب م٣/ث أيام	حجم تدفق التراكم الزائد م٣/ث أيام
مايو	٢٥	٧٧٥	٢٧٩٠٠	-٢٠١٥	-٢٠١٥	
يونية	٦٠	١٨٠٠	٢٧٠٠	-٩٠٠	-٩٠٠	
يولية	١٩٠	٥٨٩٠	٢٧٩٠	٣١٠٠		٣١٠٠
أغسطس	٢٢٠	٦٨٢٠	٢٧٠٠	٤٠٣٠		٤٠٣٠
سبتمبر	٣١٠	٩٣٠٠	٢٧٠٠	٦٦٠٠		٦٦٠٠
أكتوبر	١٨٠	٥٥٨٠	٢٧٩٠	٢٧٩٠		٢٧٩٠
نوفمبر	٧٠	٢١٠٠	٢٧٠٠	-٦٠٠	-٦٠٠	
ديسمبر	٤٠	١٢٤٠	٢٧٠٠	-١٥٥٠	-١٥٥٠	
يناير	١٤٥	٤٤٩٥	٢٧٩٠	١٧٠٥		١٧٠٥
فبراير	٤٥	١٢٦٠	٢٥٢٠	-١٢٦٠	-١٢٦٠	
مارس	٣٠	٤٣٠	٢٧٩٠	-١٨٦٠	-١٨٦٠	
إبريل	٢٠	٦٠٠	٢٧٠٠	-٢١٩٠	-٢١٩٠	

٧- ترسيب الخزان (Reservoir Sodium Mentation)

ترسيب الخزانات يكون بسبب ترسيب المادة العالقة عند القاع المنقولة بواسطة سريان المياه في الأنهار. الترسيب هو أساسًا نتيجة البري لمسارات المجرى الطبيعي في المساحات الشاسعة والقنوات نتيجة السقوط الكثيف للأمطار. بسبب الكمية الضخمة جدًا لحمل الراسب المنقول بواسطة الأنهار، فإن معدل الترسيب يكون مرتفعًا إلى حد ما، ترسيب الغرين في الخزانات يقلل من سعتها المفيدة. فمثلاً، في حالة خزان بحيرة سد بكرا في الهند، كان الترسيب المقدر سنويًا طبقًا للتصميم هو ٢٤ مليون طن بينما الراسب الحقيقي السنوي هو ٣٤ مليون طن في العام. هنا يبين أن هناك زيادة بنسبة ٤٠% في الترسيب السنوي، والذي يقلل من

العمر المفيد للخزان. تأثير آخر لتجريد الراسب بالخزان. وهو تحلل قاع المجـــرى وتأكله بسبب سريان الماء الرائق بعد السد نحو المصب. فلقد وجد أنه في حالة سد (Boulder) في الولايات المتحدة حدث انخفاض لقاع النهر خلال عدة كيلـــومترات بفعل الماء الرائق ومادة القاع التي يتم التقاطها ترسب بعد ذلك، حيث تعمل علـــى رفع قاع النهر عند مسافة ١٣٠ كيلومتر من سد (Boulder) حيث حـــدث ارتفـــاع لطبقة القاع للنهر والذي تطلب إنشاء سدود خاصة لحماية المدينة المجاورة.

في هذا المجال سيتم مناقشة ترسيب الخزان وكل العوامل الأخرى ذات العلاقة.

أ – نقل الراسب بواسطة المجرى: Sediment Transport by Stream

أي مجرى يحمل نوعين من أحمال الراسب. هما حمل الراسب العالق وحمل قـــاع مجرى النهر (Bed Load). حيث أن كلاً من الحمل العالق وحمل قاع المجرى يـــتم التقاطهم من قاع المجرى، فإنهما يعرفا معًا بحمـــل مـــادة قـــاع المجـــرى (Bed Material Load).

نظرًا لأن التدفق في المجرى الرملي يمر فوق جسيم مستقل، فإن خطوط المجـــرى تنعكس إلى أعلا وحول الجسيم، ونتيجة لذلك فإن قوى مختلفة تعمل مثـــل الرفـــع، الضغط، والسحب والجسيم يتدحرج أو ينزلق على طول قاع القناة. عندما تزيد قوة الدفع المسلطة على الجسيم عن وزن الغمر للجسم، فإن الجسيم يؤخذ إلى أعلى نحو التدفق مع قوى السحب الناتجة في الانتقال إلى الأمام كما لو كانت ترتد وتنـــتفض على طول المجرى. هذه الظاهرة تسمى تغير قفزي أو وثوب (Saltation). تحـــت تأثير سرعة الاضطراب والتقلب، فإن الجسيم الذي يقفز ويثب قد يحمل إلى أعـــلا نحو التدفق ويظل عالقًا. في أي لحظة، فإنه توجد طريقتين يحـــدث بهمـــا انتقـــال الراسب في المجرى وهما انتقـــال قـــاع المجـــرى وانتقـــال العـــالق (Sediment Transport And Bed Transport).

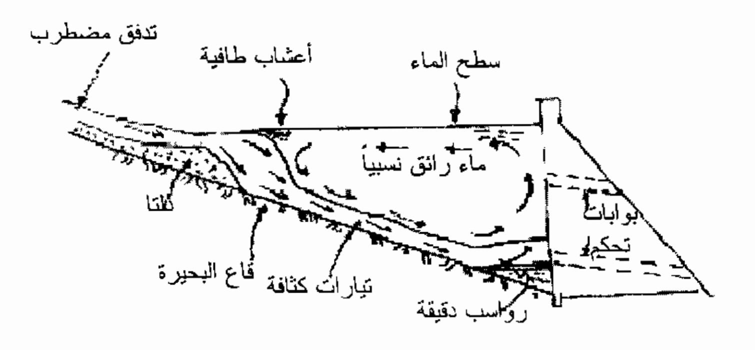
لقد وجد أن إجمالي محتوى الراسب للمجرى (مقدر بالمتر المكعب لكل كيلو متر مكعب مع مستجمع الأمطار Catchment في العام) كبير جدًا ويتضح من الارقام الموضحة في الجدول (٤) لبعض معظم الأنهار.

جدول (٤) محتوى الراسب متر مكعب / كيلو متر في العام

النهر	محتوى الراسب م^3/كم^3 العام	النهر	محتوى الراسب م^3/كم^3 العام
رقم (١)	٥٠٨	رقم (٦)	٥٠٢
رقم (٢)	٣٦٥	رقم (٧)	٦٠٠
رقم (٣)	١٠٧٥	رقم (٨)	٥١٤٨
رقم (٤)	٥٦٠	رقم (٩)	١٠٩٤
رقم (٥)	٢٠٠٠	رقم (١٠)	٧٦٢

ب- ترسيب الرواسب العالقة في الخزان: Sediment Deposit In The Reservoir

عند وصول مياه النهر الحاملة لكميات كبيرة من الأجسام العالقة إلى الخزان، فإن سرعة واضطراب التدفق تقل جدًا. الجسيمات الكبيرة العالقة ومعظم حمولة القاع والتي هي ترسبات قاع النهر غير المعلقة أو المذابة Bed Load يتم ترسيبها في الشكل المثلثي الدلتاوي (As Delta) عند بداية الخزان شكل (٦/٦).



شكل (٦/٦) توزيع الرواسب فى الخزان

الجسيمات الأصغر تظل عالقة لفترة أطول وبسبب كثافتها العالية نسبياً مقارنة بالماء، تظل متحركة على طول قاع المجرى في شكل تيار الكثافة (Density current). مع الاقتراب من سطح السد المواجه للمنبع، فإن الجسيمات الصغيرة يتم إعاقتها وترسيبها كرواسب دقيقة أو في شكل غرين (Silt). ولكن، بعض الجسيمات العالقة قد تمر خلال البوابات أو المخارج الموجودة في جسم السد.

مع استمرار الترسيب للأجسام الدقيقة، فإن مقدمة الدلتا الناتجة تتحرك باستمرار إلى أسفل في الخزان. مع استمرار الزيادة في تراكم الغرين، فإن سعة التخزين الميت قد تمتلئ بالتدريج ومع مرور الوقت قد يطغى على التخزين الحي وبما يقلل من العمر المفيد للخزان.

العوامل ذات التأثير على الترسيب للأجسام أو تراكم الغرين في الخزان هي:

١) معدل التدفق الداخل للرواسب في الخزان.

٢) كفاءة الحجز أو الصد.

٣) التحكم في الترسيب.

وهذه سيتم مناقشتها كالآتي:

جـ- معدل التدفق الداخل للرواسب في الخزان:

Sedimentation in Flow Rate

معدل تدفق الرواسب الداخل إلى الخزان هو بدلالة خصائص مستجمع المياه مثل مساحة الصرف، متوسط ميل الأرض والقناة، نوع التربة، إدارة واستخدام الأرض والعوامل الأخرى المتعلقة بعلوم المياه. لهذا فإن عملية الترسيب تكون ظاهرة معقدة وتحكمها متغيرات هيدروليكية وهيدرولوجية عديدة ولا توجد علاقة تحليلية معروفة للتقدير المباشر لمعدل الترسيب أو سعة الفقد في الخزان. لذلك، فإن معدلات ترسيب الخزان تكون مبنية أساسًا على علاقات تجريبية والتي يتم

معايرتها باستخدام القياسات الحقلية. عمومًا، يمكن أن تكون العلاقة ما بين معـدل انتقال الراسب العالق (Q_s) والتدفق الداخل للمجرى (Q) كما في المعادلة الآتية:-

$$Qs = k\,Q^n$$

حيث:

المؤشر n يتغير عادة ما بين ٢ إلى ٣،

K ثابت ذو قيمة صغيرة كاعتراض مع (Q) كوحدة واحدة.

بسبب الترسيب، فإنه يوجد نقص في التخزين. معدل النقص في التخزين يتوقف عادة على معدل التدفق الداخل للرواسب، معدلات الدمج والتماسـك للرواسـب الموجودة، نوع مخارج السد وتشغيل الخزان. معدل الفقد فـي سـعة الخـزان الناتجة يمكن حسابها باستخدام معدل استمرار التخزين كالآتي:

$$S = \frac{C_O - C_T}{\Delta T}$$

أو إجمالي سعة الفقد في التخزين بسبب الترسيبات وهو $S\Delta T = C_O - C_T$

حيث:

S = معدل الفقد السنوي في السعة بسبب الترسيبات.

C_O = التخزين الأولي عند الوقت C_O

C_T = سعة التخزين المتاحة عند الوقت T

$\Delta T = T_O - T$ = الفترة الزمنية بالسنين.

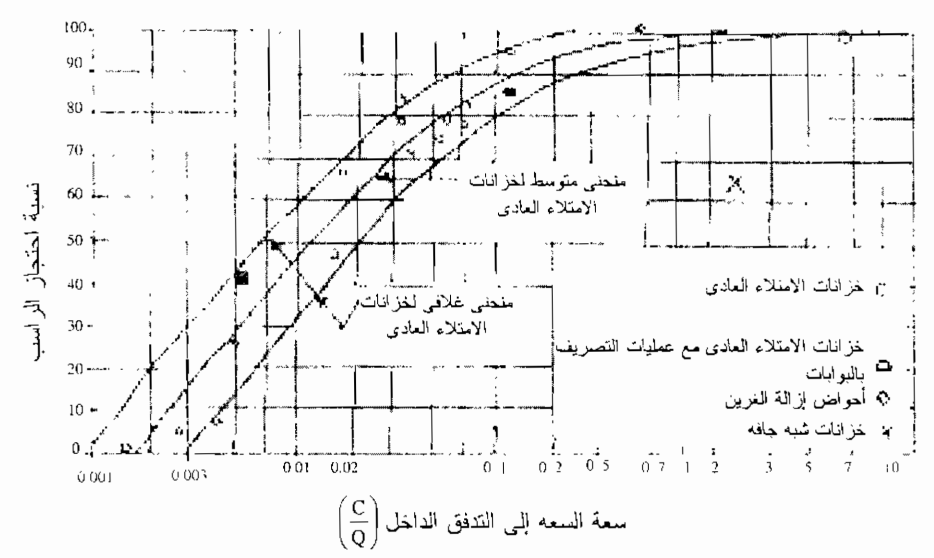
د – كفاءة الحجز أو الصد: (Trap Efficiency)

كفاءة الحجز أو الصد للخزان هي نسبة الراسب المحتجز إلى حجم الراسب القادم. العديد من العوامل يمكن أن تؤثر على كفاءة الحجز كما سيتم شرحه في الآتي:

(١) نسبة سعة التخزين للخزان إلى التدفق الداخل للمجرى والتي يرمز لها بالعلامة لها بالعلاقة (Q/C). زيادة هذه النسبة تعني صغر كمية المياه المنطلقة في اتجاه المصب وزيادة نسبة الرواسب القادمة المحتجزة. ونظرًا لأن النسبة (Q/C) هي مقياس لزمن المكوث (Retention Time)، أي الزمن اللازم لمرور المياه خلال الخزان، وكذلك تزداد كفاءة الحجز مع زيادة زمن الحجز. لذلك، فإن الخزانات الضخمة التي تحتجز الماء لشهور أو سنين يكون لها كفاءة حجز عالية بينما الخزان الصغير على المجرى الضخم له كفاءة حجز منخفضة، حيث أن الحالة الأخيرة تسمح بمرور التدفق في اتجاه المنبع بدون السماح للمواد العالقة الدقيقة بالرسوب.

(٢) دمك الرواسب المترسبة نتيجة لمختلف عمليات الخزان. من الطبيعي أن الخزانات المملوءة (Ponded) ذات الرواسب المغمورة دائمًا سيكون لها معدل دمك أصغر بأحواض نزع الغرين (Desilting Basins) والخزانات ذات السحب من آن إلى آخر. حيث يتم خفض الخزان من آن إلى آخر للصيانة أو لأي غرض آخر، عندئذ فإن الرواسب تكون أسرع في الدمك بما ينتج عنه خفض في كفاءة الحجز.

(٣) عمر الخزان: تقل كفاءة الحجز مع الوقت مع انخفاض سعة الخزان. بفعل الرواسب المرسبة. رغم أن الامتلاك الكامل للخزان قد يستغرق وقتًا طويلاً، فإن العمر المفيد للخزان يعتبر أنه ينتهي في حالة امتلاء السعة بالرواسب وبما يمنع الخزان من تحقيق أغراضه. بالنسبة لمعظم الخزانات الصغيرة والمتوسطة، تكون كفاءة الحجز والصد ما بين ٧٠ إلى ٩٠% ولكن في حالة الخزانات الكبيرة فإن نسبة (Q :C) تكون أكبر من واحد، وقد تصل إلى نسبة مرتفعة حتى ١٠٠% شكل (٧/٦). في مثل هذه الحالة، يمكن تصنيف الخزان بأنه خزان الحفظ الزائد (Hold Over storage Reservoirs).



شكل (٦/٧) العلاقة بين نسبة التدفق الداخل مع كفاءة الحجز

(٤) كثافة الراسب المترسب:(Density of Sediment Deposit)

كثافة الرواسب المترسبة تقدر عمومًا بوحدة الوزن للمادة الجافة على المتر المكعب من راسب الخزان (كيلوجرام/متر مكعب). هذا يختلف مع الوقت بسبب الدمج. معدل الدمج للراسب يتوقف على المحتوى من مادة الراسب (رمل، غرين، طفلة) وما إذا كانت معرضة للجفاف بسبب السحب مع تضييق قطر السحب. لذلك، فإنه في حالة عمل الخزان مع خفض منسوبه من آن إلى آخر، فإن الرواسب المرسبة تصبح أكثر كثافة بسبب التعرض للشمس وللهواء. على الجانب الآخر إذا كان الخزان مملوءًا باستمرار أى (Ponded)، فإن كثافة الراسب ستكون قليلة.

العلاقة التجريبية الآتية (Bylane, Koelzer) مبنية على اعتبارات العمر وتوزيع حجم الحبيبات للراسب وتستخدم في تقدير الكثافة.

$$\delta T = \delta_1 + M\text{Log}_{10} T$$

حيث:

δT = كثافة الراسب بعد (T) من سنين الدمج مقدرة KN/m^3 .

$\delta 1$ = الكثافة عند نهاية السنة الأولى

M = ضبط معامل الدمج

قيم $M, \delta 1$ لمختلف مواد الراسب وتشغيل الخزان كما في الجدول (٥).

جدول (٥) معاملات الكثافة والضبط لمختلف عمليات التشغيل للخزان

عمليات تشغيل الخزان	الرمل		الغرين		الطفل	
	$\delta 1$	M	$\delta 1$	M	M	$\delta 1$
أ- الرواسب دائمًا غاطسة أو شبه غاطسة.	14.61	0	10.21	8.9	2.51	4.71
ب - خزان طبيعي متوسط السحب مع تضييق القطر.	14.61	0	11.62	0.42	1.68	7.22
جـ- خزان ذو السحب الشديد مع تضييق القطر.	14.61	0	12.41	0.61	0.94	9.42
د - الخزان الفارغ عادة.	14.61	0	12.38	0	0	12.25

(٥) استطلاعات ترسيب الخزان: Reservoir Sedimentation Surveys

لدراسة الترسيبات الحقيقية في الخزان وتعيين إنتاجية الراسب، فإنه يتم عمل استطلاعات السعة (Capacity sureveys) كل عام. وهذه تتكون من ملاحظة السمع على طول مقاطع سابق تحديدها، تم تنفيذها بواسطة المسيار الصدوي (Echo-sounder)، وإضافة تراكب النتائج السنوية على البيان السابق لتعيين كمية الراسب أي الغرين المرسب عند كل مقطع وبذا لكل الخزان. الراسب المتراكم في الخزان لفترة معلومة يمكن عندئذ أن يعطي إنتاجية الراسب لمستجمع المياه.

قياسات الحمل العالق (Suspended Load Measurements)

بينما استطلاعات السعة بين السعة الكلية للتخزين الحي والتخزين الميت المفقود في الخزان، فإنها لا تعطى مساحات محددة تسهم في نحت وتآكل التربة. لذلك فإنه

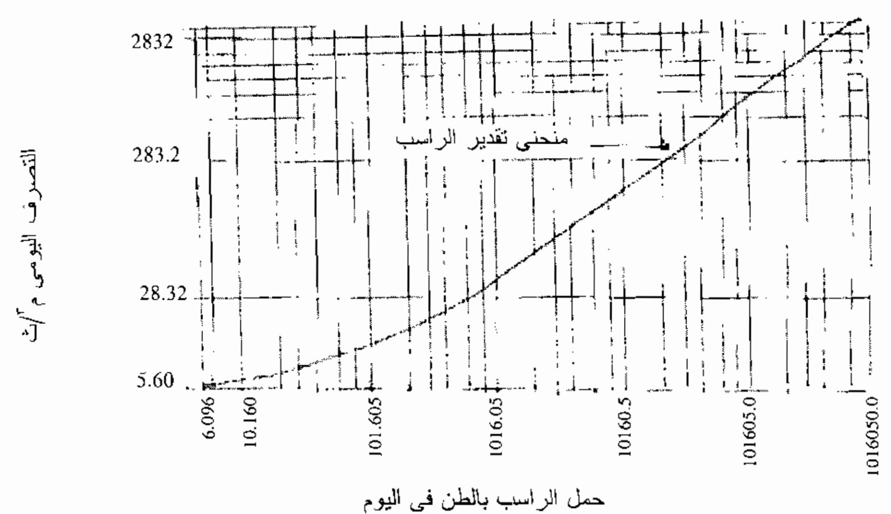
يكون من الأساسي قياس حمل الغرين العالق عند مواقع مختلفة على طوال التـدفق لمعرفة كمية الغرين المساهم بواسطة مستجمع المياه بين موقعين.

الحمل العالق للمجرى يتم قياسه بأخذ عينات. النوع المعروف جيدًا من جهاز أخـذ عينات الحمل العالق (Sampler) هو جهاز أخذ العينات للعمـق التكـاملي (Depth-Integrating sampler). جهـاز أخـذ العينـات (Sampler) مـع عبـوره العمـق المستعرض (Traversing The Depth) للمجرى عبر المقطع الرأسي في شريط بين المواقع يقوم بالجمع عند كل نقطة في المقطع حجم من خلـيط الراسـب – المـاء المتناسب مع سرعة المجرى. تركيز العينة يعطي متوسط التركيـز فـي المقطـع الرأسي. حصيلة هذا التركيز والتصرف المقابل للشريط في الحمل العالق للشريط. التعيين المعملي للتركيز يتم بترشيح العمل المقاس لعينة المجرى لإزالة الراسـب، وتجفيف ووزن المادة المرشحة. حمل الراسب يقدر عمومًا بالجزء في المليون ويتم الحصول عليه كالآتي:

$$\text{حمل الراسب (جزء في المليون)} = \frac{\text{وزن الراسب}}{\text{وزن الراسب والماء في العينة}} \times ١٠^{٦}$$

البيانات عن قياس حمل الراسب وتصرف المجرى المقابل يستفاد بها فـي إعـداد وتطوير منحنى معدل الترسيب (Sediment – Rating curver) والذي هـو علاقـة متبادلة (Correlation) بين حمل الراسب والتصرف.

يتم توقيع البيانات على ورق لوغاريتمي حيث حمل الراسب على المحور الأفقـي وتصرف المجرى على المحور الرأسي. نموذج لمنحنى معدل الترسيب موضح في الشكل (٦/٨).



شكل (٦/٨) منحنى تقدير الراسب

مثال:

عين متوسط كثافة الراسب في خزان والذي سوف يمتلئ في مائة عام بالرواسب ذات المكونات الآتية:

الرمل	٣٠%
الغرين	٤٠%
الطفل	٣٠%

يمكن افتراض أن الخزان يعمل من آن إلى آخر لحالة السحب مع تضييق القطر (Draw-Down).

الحل:

بالدخول في الجدول (٥) لعمل الخزان في حالة السحب مع تضييق القطر فإننا نحصل على قيم M و δ_1.

M (للرمل) = 0، M (للغرين) = 0.16، M (للطفل) = 0.94

δ_1 = 14.61 = 12.41 = 9.42

باستخدام المعادلة رقم (٧)

$$\delta T = \delta_1 + M Log_{10} T$$

فإن كثافة الراسب تكون عند نهاية ١٠٠ عام.

$$\delta_{100} = 14.61 + 0; 12.41 + 0.16 \, Log_{10} 100, 0.94 \, Log_{10} 100$$

$$= 14.61; 12.73; 11.30$$

كثافة المادة المركبة=

$$14.61 \times 0.3 + 12.73 \times 0.4 + 11.3 \times 0.3 = 12.9 \; KN/m^3.$$

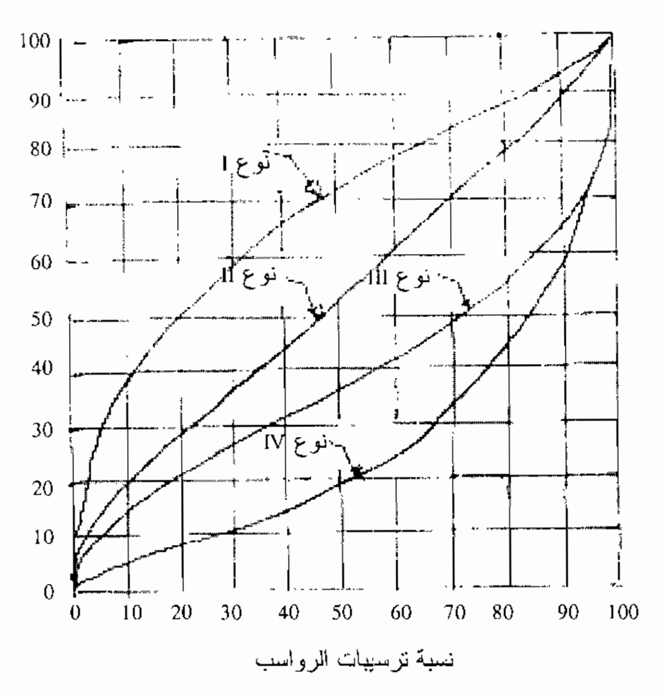
٨- توزيع الراسب في الخزان: Sediment Distribution in The Reservoir

توزيع الراسب في الخزان يتوقف على عوامل كثيرة مثل ميل الوادي، طول الخزان، حجم الحبيبات للجسيمات العالقة، نسبة السعة إلى التدفق الداخل .. إلخ. توزيع الراسب ليس بالضرورة أن يكون محصورًا في المناطق السفلى في الخزان ويمكن أن يكون موزعًا أسفل سطح الماء العادي وذلك طبقًا للعوامل السابق ذكرها. لدراسة إطار توزيع الراسب، فلقد تم تحليل بيانات من ٣٠ خزان في الولايات المتحدة واستخدمت ستة طرق مختلفة للتنبؤ بالإطار العام لتوزيع الراسب في الخزان. من بين هذه الطرق كانت الطريقة المنطقية والمعقولة هي الطريقة التجريبية لخفض المساحة.(Emperical Area Reduction) والتي سيتم مناقشتها..

في هذه الطريقة يتم تقسيم الخزانات إلى أربع أنواع بشرط وجود علاقة محددة بين شكل الخزان ونسبة الرواسب الراسبة خلال الخزان.

الأنواع الأربعة هي الموضحة في الشكل (٦/٩) بأربع منحنيات قياسية وهي النوع (I) ، النوع (II)، النوع (III)، النوع (IV) على التوالي. شكل الخزان.

يتم تعريفه بالعلاقة ما بين السعة (Capacity) والعمل والمجالات المختلفة لميول تلك المنحنيات موضح في الجدول (٨). بتوقيع سعة الخزان مقابل العمق على ورق لوغاريتم – لوغاريتم والحصول على ميل المنحنى للخزان، فإنه يمكن تعيين النوع الذي ينتسب إليه الخزان بمساعدة الجدول (٦).



شكل (٦/٩) أنواع المنحنيات لتقسيم الخزانات

جدول (٦) نوع وخواص الخزانات

النوع	الوصف	ميل خط السعة مقابل العمل	وضع الراسب	C	m	n
I	بحيرة	4.5-3.5	القمة	5.074	1.85	0.36
II	سهل فيضي (يتكون بترسيب الطمي جانب النهر) تل سفحي. Flood – plain Foot-Hill	3.5-2.5	فوق المتوسط	2.489	0.57	0.41
III	تل	2.5-1.5	تحت الوسط	16.967	1.15	2.32
IV	وادي عميق – خانق Corge	1.5-1	القاع	1.486	0.25	1.43

يتم عندئذ تحويل المنحنيات من النوع القياسي إلى منحنيات تصميم المساحة شكل (١٠) باستخدام العلاقة الآتية:

$$A = CP^{m}(1-P)^{n}$$

حيث:

P = العمق النسبي فوق قاع المجرى.

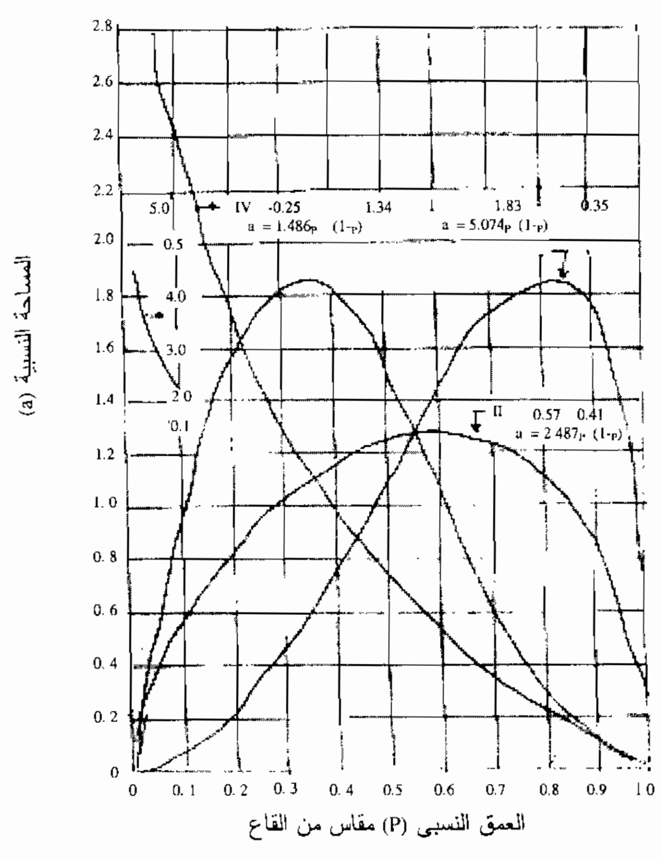
a = نسبة مساحة الراسب تعرف بـــ (a_s/k_1).

a_s = مساحة الترسيب للراسب عند P.

$$\int_0^1 a_s d_p = K_1$$

C = ثابت

قيم C و m، n للأنواع الأربع موضحة في الجدول (٦) وتلك لمساحة الراسب (a) يمكن الحصول عليها من الشكل (٦/١٠) المقابل للعمق p النسبي.



شكل (٦/١٠) منحنيات تصميم المساحة

المعادلة الأساسية لتعيين توزيع الراسب هي في الشكل الآتي:

$$(10)\ S = \int_{O}^{Y_o} A\,dy + \int_{Y_o}^{H} Ka\,dy$$

حيث:

S = إجمالي الرواسب إلى ما تم ترسيبه في الخزان.

O = الارتفاع الأصلي صفر عند السد.

Y_o = الارتفاع صفر بعد فترة التدفق الداخل للرواسب.

A = المساحة السطحية للخزان.

d_y = العمق التزايدي Incremental Depth

H = العمق الكلي للخزان عند مستوى الخزان العادي.

K = ثابت النسبية لتحويل المساحة النسبية للراسب إلى مساحة حقيقية لخزان معين.

عند حل المعادلة (١٠) فإننا نحصل على العلاقة الآتية:

$$(١١)\ \frac{1+Vo}{ao} = \frac{S-Vo}{HAo}$$

حيث:

Vo الحجم النسبي للخزان عند العمق الجديد صفر.

a_o = المساحة النسبية للراسب عند العمق الجديد صفر.

Vo = الحجم الإجمالي للخزان عند العمق الجديد صفر.

Ao = المساحة الكلية للخزان عند العمق الجديد صفر.

بتعريف (hp)، (h'p) كما في المعادلات (١٢)، (١٣)، يمكن من المعادلة (١١) استنتاج أن $h'p = h_p$ عند الارتفاع الجديد صفر أي ارتفاع الرواسب المرسبة بواسطة التدفق الداخل للرواسب خلال الفترة الزمنية:

$$hp = \frac{1 - Vp}{ap} \quad (١٢)$$

$$h'p = \frac{S - VpH}{HX\ ApH} \quad (١٣)$$

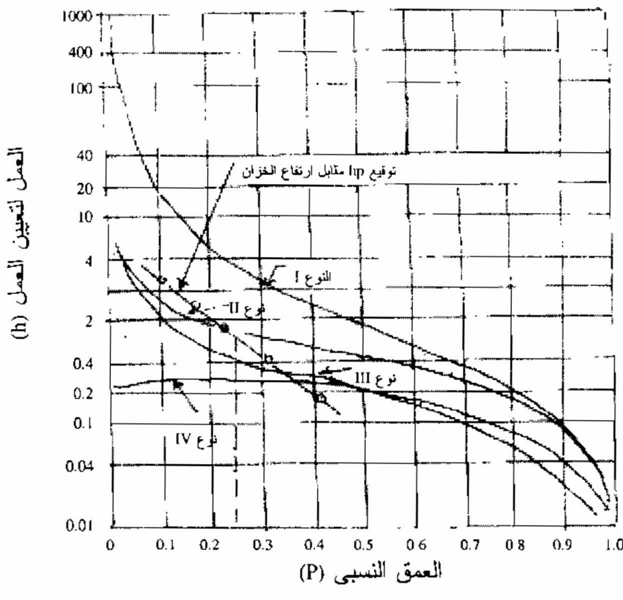
hp = دلالة نسبة العمق للأنواع الأربع لمنحنيات التصميم النظري.

h'p = دلالة نسبة العمق لخزان معين وتخزينه المتوقع للراسب.

ApH = مساحة الخزان المقابلة للارتفاع فوق قاع المجرى.

VpH = سعة حجم الخزان المقابلة للارتفاع فوق قاع المجرى.

من منحنيات تصميم النوع شكل (٩) ومنحنيات تصميم المساحة شكل (١٠)، فإنه يمكن عمل المجال الكلي لمقادير (hp) لكل أنواع الخزانات من خلال توقيع العمق النسبي (P) مقابل العمق لتعيين دلالة (h) أي (hp) (انظر الشكل ١١) خلال استخدام المعادلة (١٢) وباستخدام المعادلة (١٣)، مقادير (h'p) يمكن الآن أن يتم تطابقها على الشكل (٦/١١) وقيمة (p) التي تتقاطع مع المنحنى المناسب سوف يعطي العمق النسبي (Po) للارتفاع صفر الجديد والارتفاع صفر الجديد (Yo) يمكن عندئذ حسابه بإضافة ناتج (Po H) إلى الارتفاع الأصلي لقاع المجرى.



شكل (٦/١١) منحنيات لتعيين عمق الراسب

لحساب الرواسب المرسبة وحجم الراسب المتراكم عنـد مختلـف الارتفاعـات للخزان، فإن الطريقة سيتم شرحها في المثال التالي:

مثال:

خزان له البيانات الآتية:

السعة الأصلية = ٨٢٥٠ هكتار متر (ha.m).

المستوى العادي للخزان = ١٧٥,٥

زمن الترسيب = ١٥ عام.

تراكم الترسيب خلال الفترة الزمنية = ١٧٥٠ هكتار. متر

خصائص الراسب: رملي مع حبيبات من الطفل.

ارتفاع قاع المجرى عند السد = ١٦٠,٠٠

مساحة الخزان وبيانات السعة

الارتفاع (بالمتر)	المساحة (هتكار)	السعة (هتكار. متر)
160.00	0	0
161.75	45	60
162.70	70	125
163.75	140	240
165.00	185	445
166.5	350	710
168.0	540	1320
169.50	675	2225
171.00	850	3375
172.50	1000	4825
174. 0	1200	6500
175.5	1400	8250

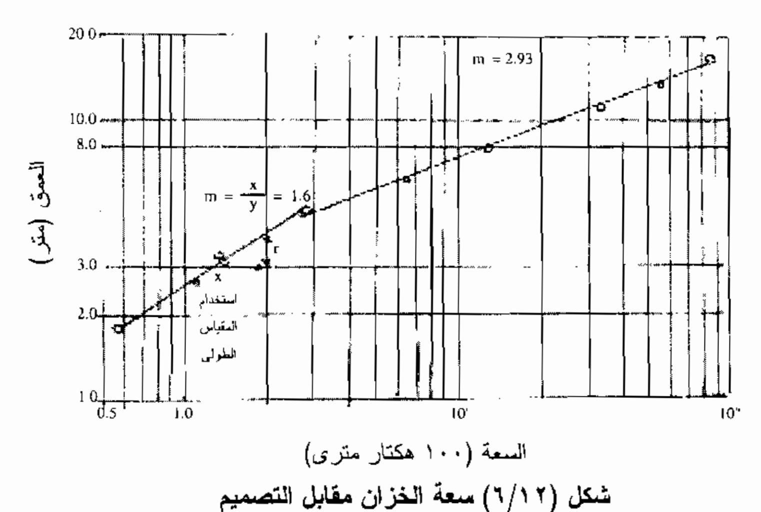
الحل:

عند حل هذا المثال فإن الطريقة المستخدمة يتم شرحها خلال الخطوات الآتية:

الخطوة رقم (١):

عين النوع الذي ينتمي إليه الخزان من توقيع سعة الخزان مقابل العمق كما هــو موضح في الشكل (٦/١٢).

الميول موضحة في العلاقة. الجزء العلوي الكبير يبين الميل ٢,٩٣ بما يوضح أنه يقع بين حدود الميل للنوع II الجزء السفلي الصغير يبين الميل ١,٦ والذي هو خــلال حدود الميل للنوع III. ولكن، حيث أن الراسب يكون في الغالب من الرمل التقيل، فإن معظم المادة سيتم احتجازها في اللسان المنبسط العلوي (Upper Reaches) فــي شــكل ذات متقدمة. لذلك فإنه يبرر لتصنيفه كالنوع (II) لتوزيع الراسب.



شكل (٦/١٢) سعة الخزان مقابل التصميم

الخطوة II:

عين الارتفاع صفر الجديد بحساب قيم (h'p) للقليل من قيم خمسة أيــام (كمثــال) لارتفاع الخزان. كما هو موضح في الجدول (٧)،. يتم توقيع تلك القــيم فــي الــشكل (١١) ورسم منحنى لطيف خلال تلك النقطة لاعتراض نوع المنحنى الذي نوعــه (II) عند Po = 0.25.

ثم $H \times Y_o = H \times P_o = 15.5 \times 0.25 = 3.875$ متر.

ارتفاع الرواسب المرسبة عند الارتفاع صفر الجديد = 160 + 3.875

= 163.875 متر

الخطوة III:

يتم الحصول على قيم المساحة النسبية (a) عند القيم المختلفة للعمق النسبي خــلال استخدام الشكل (١٠) (يتم ملاحظة الأعمدة ٥، ٤ من الجدول ٨).

جدول (٧) تعيين قيمة (h'p)

S = 1750 ha.m		H = 15.50m					
ارتفاع العمق فــوق قــاع المجرى	(m)	P $\left(\frac{Col\ 2}{H}\right)$	ApH (ha)	VpH (ha.m)	S.VpH Ha.m	HXApH (ha.m)	h'p
١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨
١٦١,٧٥	١,٧٥	٠,١١٣	٤٥	٦٠	١٦٩٠	٦٩٧	٢,٤٢٥
١٦٢,٧٠	٢,٧٠	٠,١٧٤	٧٠	١٢٥	١٦٢٥	١٠٨٥	١,٤٩٨
١٦٣,٧٥	٣,٧٥	٠,٢٤٢	١٤٠	٢٤٠	١٥١٠	٢١٧٠	٠,٦٩٦
١٦٥,٠٠	٥,٠٠	٠,٣٢٢	١٨٥	٤٤٥	١٣٠٥	٢٨٦٧	٠,٤٥٥
١٦٦,٥٠	٠,٥٠	٠,٤١٩	٣٥٠	٧١٠	١٠٤٠	٥٤٢٥	٠,١٩٢

الخطوة IV

يتم حساب (k_1) بقسمة مساحة الراسب بالمساحة النسبية عنــد الارتفــاع صــفر الجديد. حجم (k_1) يكون مقداره ١٤٤.

الخطوة V

الحصول على مساحة الرواسب المرسبة (a_s) بضرب (K_1) بالمساحة النسبية عند الارتفاع صفر الجديد (العمود ٦ من الجدول ٨).

الخطوة VI

احسب حجم الراسب بضرب متوسط المساحتين المتتاليتين مع العمق المقابل عند الارتفاع (العمود ٧ للجدول ٨).

الخطوة VII

تضاف مقادير حجم الراسب لمعرفة إجمالي حجم الراسب المتراكم.

الخطوة VIII:

راجع ما إذا كان إجمالي حجم الراسب المتراكم يتوافق مـــع إجمـــالي الراســـب المتدفق إلى داخل الخزان. في حالة عدم التوافق K_1 إلى K_2 بالعلاقة.

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{S_2}{S_1}$$

حيث:

S_1 = إجمالي حجم الراسب المتراكم.

S_2 = إجمالي الراسب الداخل إلى الخزان.

جدول (٨) حساب الراسب المرسب بطريقة الخفض التجريبية

الارتفاع	المساحة الأصلية (ha)	السعة الأصلية (ha.m)	العمق النسبى (P') (a)	المساحة النسبية (ha)	المحاولة الأولى		المحاولة الثانية		المحاولة الثالثة		التراكم حجم الراسب المعدل (ha.m)	حجم الراسب (ha.m)	المساحة المعدلة (ha)	السعة المعدلة (ha.m)
					مساحة الراسب (ha)	حجم الراسب (ha.m)	مساحة الراسب (ha)	حجم الراسب (ha.m)	مساحة الراسب (ha)	حجم الراسب (ha.m)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
175.50	1400	8250	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	1750.00	1400.00	6500.00
174.00	1200	6500	0.903	0.90	129.60	97.20	111.60	83.70	109	82.28	18.80	1668.20	1090.30	4831.80
172.50	1000	4825	0.806	1.16	167.04	222.48	143.84	191.58	141	188.32	187.84	1480.36	858.60	3344.64
171.00	850	3375	0.709	1.21	174.24	255.96	150.04	220.41	147	216.66	216.17	1264.19	702.51	2110.81
169.50	675	2225	0.613	1.28	184.32	268.92	158.72	231.57	156	227.64	227.15	1037.04	518.97	1187.96
168.00	540	1320	0.516	1.25	180.00	273.24	155.00	235.29	152	231.40	230.81	806.23	387.63	513.77
166.50	350	710	0.419	1.20	172.80	264.60	148.80	227.85	146	223.98	223.50	582.73	203.72	127.27
165.00	185	445	0.322	1.16	167.04	254.88	143.84	219.48	141	215.76	215.27	367.46	43.60	77.54
163.87	144	240	0.250	1.00	144.00	175.74	124.00	151.33	121	148.76	148.28	219.18	22.10	20.82
162.70	70	125	0.174	-	70	125.19	70	125.19	70	125.19	125.19	93.99	0	0
161.75	45	60	0.113	-	45	54.62	45	54.62	45	54.62	54.62	39.37	0	0
160.00	0	0	0	0	0	0	0	37.37	0	39.37	39.37	0	0	0
-	-	-	-	-	-	2032.20	-	1780.39	-	1753.88	1750.00	-	-	-

– الإرتفاع الجديد صفر

$K_1 = \frac{144}{1.00} = 144$ $K_2 = \frac{1750}{2032.20} \times 144 = 124$ $K_3 = 121.9$

في هذا المثال يكون الحجم الإجمالي للراسب المتراكم هــو (203.20ha.m) بينمــا إجمالي التدفق الداخل إلى الخزان من الراسب خلال الفترة هو (1750 ha.m) لذلك يــتم حساب K_2 كالآتي:

$$K_2 = \frac{1750}{2032.20} \times 144 = 124$$

الخطوة IX:

تم الآن عمل محاولات زيادة بتكرار الخطوات (٣) إلى (٧) وتعيين قيم (K) التي ترضي حالة أن إجمالي الراسب المتراكم هو غالبًا نفسه مثل إجمالي التدفق الداخل من الراسب. وهذا واضح خلال الأعمدة ٨ إلى ١٢ من الجدول (٨).

الخطوة X

يتم الحصول على مساحة الراسب المعدلة بطرح مساحة الراسب المعدله كمحاولة قبل الأخيرة من المساحة المقابلة الأصلية (العامود ١٤).

الخطوة XI

يتم الحصول على حجم الراسب والمتراكم المعدل بطرح حجم الراسب المتــراكم من السعة الأصلية المقابلة (انظر العامود ١٥).

٩- العمر المفيد للخزان: (Useful Life Of The Reservoir)

إنه من الأهمية معرفة متى يتم استنفاذ سعة التخزين للخزان بسبب الترسيبات. في الواقع، قبل تمام الملئ بالغرين للخزان، فإن ترسيب الرواسب ســوف يطغــى أولاً على التخزين المفيد للخزان – وبذا يسبب الإعاقة في أداء المهمــة المــصمم مــن أجلها. قد تأتي مرحلة أخيرة حيث مع استنفاذ سعة الخزان، فإن الخزان لا يمكنــه خدمة الغرض المصمم من أجله لذلك فإنه يمكن القول أن عمر الخزان قد انتهــى. هذا يعني أن هناك حاجة لمعرفة كلاً من العمر المفيد وكــذلك العمــر الكامــل أو الأقصى للخزان. (Both The Useful Life and The Full or ultimate Life of The Reservoir) وكذلك العوامل ذات التأثير عليهم.

العمر المفيد (Usefull life)

العمر المفيد للخزان يعرف بأنه الفترة بالسنين التى خلالهـا رسـوب الترسـيبات لايمنع الخزان من أن يخدم طبقاً للغرض الأولى المستهدف. من الطبيعى أن يعتبر العمر المفيد للخزان أنها قد ينتهى عند هبوط أدنى سعة أساسـية أسـفل التخـزين الميت حيث الخزان عندئذ سوف لايمكنه تحقيق أدنى طلب أساسى.

العمر الكلى (Full life)

العمر الكلي للخزان هو عدد السنين اللازمة لسعة الخزان ليكـون تـام الاسـتنفاذ بالترسيبات. تحديدا، عندما يصبح كل عمر الخزان قد تم الاستنفاذ لكل العمر المفيد للخزان حتى النهاية.

معدل الترسيب أو تراكم الغرين هي العامل الرئيسي الذي يؤثر على عمر الخـزان وهو يعتمد أساسًا على نسبة السعة إلى التدفق الداخل وإلى حد ما على كفاءة الحجز وطريقة عمل الخزان لذلك، فإن الخزانات ذات نسبة (C إلى Q) صغيرة ومحتوى عالى من الراسب فى التدفق حتى النقطة حيث كثير من التدفق يمكن أن يمر خلال مفيض السد، سوف يكون له معدل ترسيب عالى. عموما، مع محتوى معـين مـن الراسب فى التدفق الداخل، فإن الخزانات ذات التخزين الموسمى سوف يكون لهـا سعة فقد سنوية أعلى مقارنة بالخزانات المصححة لتوفير التخزين لسنتين أو لثلاثة سنوات. على العكس السعة السنوية مع نسبة معطاه (C إلى Q) سوف تتغير بنسبة مباشرة مع محتوى التدفق الداخل من الرواسب طبقًـا لكفـاءة الحجـز وطبيعـة الرواسب.

مثال:

البيانات الآتية متاحة للخزان:

منطقة التجميع (Catchments Area) = ١٠٠٠ كيلو متر مربع

التخزين الحي = ٧٦٠٠ هكتار. م (ha.m)

التخزين الميت = ٣٢٠٠ هكتار. م (ha.m)

الحمل السنوي للغرين = ٣٦٥,٠٠٠ طن

متوسط كثافة الغرين الراسب = ١٠٤٠ كجرام/م^{3}.

حمل الغرين يتكون من الدرجات الآتية:

الغرين الخشن = ٤٠%

الغرين المتوسط = ٥٠%

الغرين الدقيق = ١٠%

بفرض أن كل الغرين الخشن، ٥٠% من الغرين المتوسط سوف يرسب في فراغ التخزين الميت للخزان. كذلك، ١٠% من التخزين الدقيق سوف يمر خلال مخرج السد كتيار كثافة، ٩٠% من الغرين الباقي مع ٥٠% من الغرين المتوسط سوف يرسب قبل الوصول إلى الطرف الأمامي للخزان (Above Head Reach). قدر:

أ- العمر المفيد للخزان.

ب - العمر الكلي للخزان.

الحـــل:

الغرين السنوي: ٣٦٥٠٠٠ طن

حجم الحمل السنوي للغرين = $\frac{365000 \times 10^{3}}{1040}$

= ٣٥٠,٩٦٠ متر مكعب = ٣٥ هكتار. متر

= 35 (ha.m)

الغرين الخشن = ٤٠% = $\frac{40}{100} = 25 \times = 14$ ha.m

الغرين المتوسط= ٥٠% = $\frac{50}{100} \times 35 = 17.5$ ha.m

الغرين الدقيق = ١٠% = $35 \times \frac{10}{100}$ = 3.5 ha.m

مع ١٠% من الغرين يذهب كتيار كثافة (Density Current)

فإن الكمية المتبقية السنوية من الغرين الدقيق المترسب = 3.5×0.9

= 3:15 (ha.m).

مع كل الغرين الخشن و ٥٠% من الغرين المتوسط رسب فى التخزين الميت، فإن

حجم الغرين المتراكم = 14 + 3.15 = 11.90 ha.m

الزمن اللازم لامتلاء التخزين الميت بالغرين = $\frac{3200}{22.75}$ = 140.65 = ١٤١ سنة

∴ العمر المفيد للخزان = ١٤١ سنة

الزمن اللازم لامتلاء التخزين الحي بالغرين = $\frac{7600}{11.9}$ = 638.65 ≅ ٦٣٩ سنة

أو العمر الكلي للخزان = ٦٣٩ سنة

٩- التحكم في ترسيبات الخزان: Reservoir Sedimentation Control

بسبب الفقد في سعة الخزان والتي تقصر من عمر الخزانات، فإنه يكون من الضروري إحداث بعض التحكم على الترسيب في الخزان حيث تستخدم الطرق الآتية:

أ – اختيار الموقع:

يجب أن يتم اختيار الموقع بحيث أن يكون التدفق الداخل من الترسيبات منخفضًا بما يؤخر الترسيب في الخزان ولا يمنعه. اختيار الموقع يعتمد على خصائص الحوض مثل نوع التربة، ميل الأرض، الغطاء النباتي وخصائص سقوط الأمطار.

ب- تخزين الراسب:

كما تم مناقشته في البند (٨)، فراغ تخزين الراسب الذي يساوي الحجم المقدر لترسيب الغرين خلال الفترة العمرية للخزان يتم وضعه في فراغ التخزين الميت للخزان. ولكن، بعض الترسيبات قد ترسب كذلك خلال كل الخزان.

جـ- طرق الحفاظ على التربة في مستجمع الأمطار:

Soil conservation Method In The Water Shed:

وهذه تشمل:

(١) زراعة الأحراج (A forestation) للميول العليا والحادة.

(٢) عدم السماح برعي الحيوانات.

(٣) مراجعة السدود في التحكم في الوديان الضيقة شديدة الانحدار (Ravines).

(٤) تسوير وتدريج الكنتورات.

زراعة الأحراج تستغرق وقتًا طويلاً ولكنها توفر حماية إيجابية نحو الانـزلاق والبرى أو التآكل للتلال.

تقييد الرعي وبالتالي التغطية بالحشائش والنباتات يقلل من التدفق خلال شـهور الأمطار. وبالتالي إنشاء سدود التحكم (Check Dams) في أخاديد سيولة المـاء في الوقت المناسب قبل بدء التآكل والتفتت، يساعد على حجز الراسب ومنعـه من دخول المجرى. يجب الإشارة إلى أن طرق الحفاظ هذه لا تبعـد أو تمنـع تمامًا التآكل والتفتت وفي بعض المساحات قد يكـون مـن الـصعب التبريـر الاقتصادي. كذلك، كما سبق ذكره، حيث أنه فى حالـة عـدم تـوفير الحمـل الطبيعي للرواسب لمياه المجرى، فإن المياه عندئذ تميل إلى إحداث تآكل وبري (Scouring) للقاع والأجناب للمجرى، والذي يتطلب إجراءات الحمايـة للقـاع والأجناب مثل، التكسية الأسمنتية أو الحجرية والتي تزيد من التكلفة.

د- خفض الرواسب بالطرق الطبيعية:

Reduction of Sediment By physical means:

الإزالة الطبيعية للرواسب المترسبة في الخزان ليست ممكنة وكـذلك لا يمكـن تبريرها اقتصاديًا. ولكن، في السدود حيث تنشأ البوابـات الـضخمة وتـشغيل الخزان يسمح بمرور فيض من المياه، فإنه يمكن مرور جزء كبير من الراسب خلال الخزان. كذلك فإن محابس التحكم أو المخارج عند المستويات المختلفة قد تسمح بصرف الرواسب الدقيقة، ولكن الإزالة قد لا تمتد بعيدًا عن اتجاه المنبـع للسد.

١٠- عمل الخزان Reservoir Operation

عمل الخزانات هو عملية مخططة لاستخدام الموارد المائية المتاحة لتحقيق أقصى استفادة باستخدام سعة الخزان. لذلك فإنه يكون من الضروري، أن يتم التخطيط قبل الإنشاء الحقيقي للمشروع لضمان تحقيق الغرض الرئيسي من الخزان بما يحقق الاستفادة من الموارد المائية. التخطيط يجب أن يبنى على الآتي:

أ - سلوك وفعالية خواص التدفق السابق للمجرى.

ب - التحكم في البيانات المائية المنخفضة للحصول على أقصى كفاءة للخزان.

جـ- تأثير الانطلاق المفاجئ لمياه الفيضان من الخزان على المجرى والأراضي الزراعية في اتجاه المصب من السد.

الطرق الرئيسية لعمل الخزان تعتمد على درجة الخزانات وسيتم مناقشتها:

أ- **خزانات الحفظ لغرض واحد: Single Purpose Conservation Reservoir**

وهذه تشمل استخدام الطرق الآتية لعملها.

(١) طريقة الاستخدام السنوي:

وهذه الطريقة مبنية على مفهوم التخزين الموسمي للماء في الخزان واستخدامه التالي في فترة الجفاف من العام. يتم تصميم هذه الخزانات بحيث أنه يتم الامتلاء خلال موسم الفيضان. وحتى الزائد يتم صرفه خلال المفيض، ولكنه يكون مستنفذ تماماً خلال موسم الفيضان المنخفض لتحقيق متطلبات الحاجة إلى المياه. لا يوجد تخزين لغرض مخصوص لترحيله إلى العام القادم. الفترتين الواضحتين هما فترة الملء وفترة التفريغ. هذه الطريقة لها سلبيات أنه يسبب عدم ترحيل التخزين فإنه لا يمكن تلبية متطلبات المياه خلال سنين الجفاف.

(٢) طريقة التأمين (Insurance Method)

طريقة التأمين مبنية على مفهوم ترحيل التخزين الضروري لتوفير أدنى متطلبات خلال سنين الجفاف. أولاً، نحن نحتاج لتعيين استمرار التدفق من

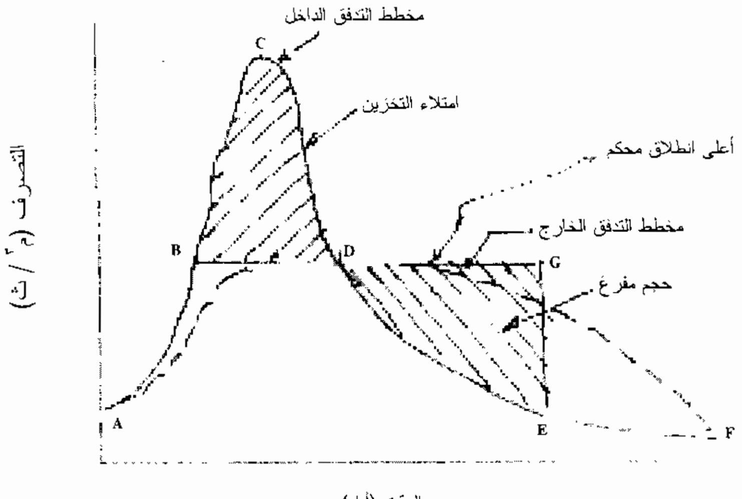
الخزان خلال سنين الجفاف. ثم، إطلاق فقط كمية من الماء كل عام خلال فترة الجفاف. الميزان المائي يتم المحافظة عليه كاحتياطي كتخزين مرحل لينطلق فيما بعد خلال سنين الجفاف. الميزة الرئيسية لهذه الطريقة هي أنها توفر اعتمادية بنسبة ١٠٠%. السلبية هو أنه باستثناء سنين الجفاف، لا يتم تحقيق فوائد كاملة من الخزان.

الطريقة الحديثة، جمع أفضل ما في الطريقتين السابقتين أي أقصى استفادة من أقصى تخزين سنوي متاح وكذلك توفير أدنى تدفق يمكن الاعتماد عليه. ثم وضع منحنيات قانونية للعمل طبقًا للجزء السابق كدليل لأفضل عمل وضمان أقصى كفاءة للخزان.

ب- خزانات الغرض الواحد بالتحكم في الفيضان:

Single purpose Flood Control Reservoirs:

خزانات التحكم فى الفيضان تعمل طبقاً لمبدأ الامتصاص المؤقت لمياه الفيضان وإطلاقها بعد الفيضان بالسرعة التى تسمح بها ظروف المجرى فى اتجاه المصب. بعمل هذا، فإنه يتم تخزين جزء من تدفق الفيضان فى الخزان ويمكن خفض ذروة الفيضان عند النقطة حيث تتم حمايته. مبدأ العمل يتم شرحه فى الشكل (٦/١٣).



شكل (٦/١٣) مبدأ العمل لخزان الغرض الواحد

من الشكل (١٣) ABCDEF يمثل الرسم البياني للتدفق الداخل أو خريطة الفيضان الذي يدخل الخزان. بتنظيم بوابات التحكم أو بوابات المخارج يتم السماح للتدفق بالمرور مباشرة خلال الخزان إلى قناة المصب للسد. BDG تمثل أقصى إطلاق ممكن خلال الخزان. هذا يعني أن سعة الخزان BCD يمكن أن يتم بناءها لخفض ذروة الفيضان من C إلى D خلال التحكم في التدفق الخارج.

الخزان يكون تام الامتلاء عند D، ثم عندئذ يبدأ في التفريغ بأسرع ما يمكن لتوفير التخزين للفيضان التالي المحتمل وتفريغه عند G عند مرور الفيضان ثانيًا خلال الخزان. بدون تغيير في هذه اللحظة، فإن التخزين الممتلئ BCD يساوي الحجم الفارغ DGE. بسبب الصعوبات العملية نحو التوقيت الدقيق للانطلاق المحكم خلال الخزان، فإن خريطة التدفق الخارج المقابل للسعة الآمنة لقناة الصب سوف تكون مثل ADF مع DFE = ACD. لذلك فإن سعة الخزان في خفض ذروة الفيضان من C إلى D هو ABCD ونسبة BCD/ABCD التي تسمى كفاءة الخزان قد لا تزيد عن ٥٠% من متوسط أدنى كفاءة لعمل الخزان.

بالنسبة لخزانات الحفظ (Detention Reservoirs)، فإنه يتم تنظيم التدفق باستخدام البوابات والمحابس بحيث أن ذروة الفيضان عند السد أو قريبًا منه يتم حفظها وبذا تقل خطورة التدمير بفعل الفيضان في مجرى المصب. بالنسبة لأحواض الإعاقة (Retarding Basins) ذات المخارج الثانية غير المجهزة ببوابات، فإن سعة الصرف للمخارج مع الامتلاء الكامل للخزان يجب أن تساوي أقصى تدفق الذي يمكن أن يمر في القناة في اتجاه المصب بدون إحداث أي تلف شديد بالفيضان بمجرد حدوث الفيضان يبدأ الخزان في الامتلاء ويزداد كذلك التصرف حتى تمام مرور الفيضان وتساوي كلاً من التدفق الداخل مع التدفق الخارج. بعد ذلك، يتم السحب الآلي للمياه من الخزان حتى استنفاذ الماء المحجوز مؤقتًا في الخزان. لذلك فإن العملية كلها تكون آلية.

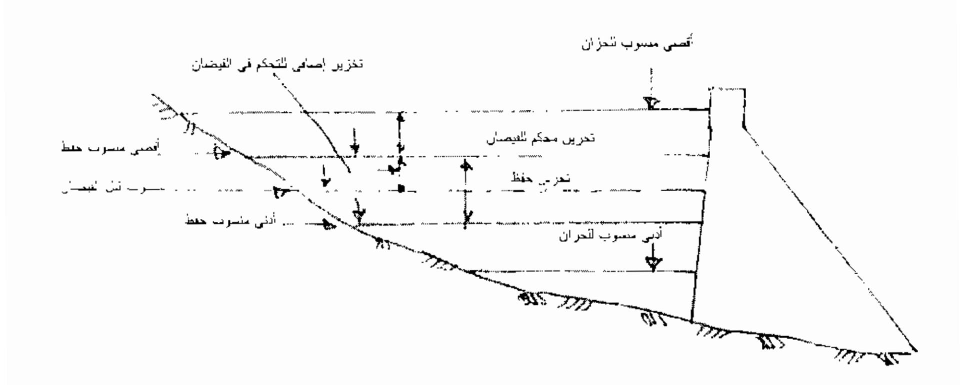
يجب ملاحظة أن عمل خزان التحكم في الفيضان كما هو موضح في الشكل (١٣) يكون محدودًا بحقيقة أن سعة الخزان تكون كافية لامتصاص الفيضان القادم. في حالة زيادة حجم الفيضان عن سعة التخزين للخزان، عندئذ فإن خطة العمل ستكون مختلفة تمامًا. كذلك، فإن خزانات التحكم في الفيضان تمتلك أقصى قدرة لخفض الفيضان فقط عندما تكون فارغة. بعد حدوث الفيضان، فإن جزء من تخزين التحكم في الفيضان يظل غير مشغول بسبب تراكم مياه الفيضان وقد تستغرق وقتًا لإزالته من الخزان. في حالة وصول فيضان آخر للخزان عند هذه المرحلة؛ فأنه قد يسبب مشكلة زيادة التدفق عدا في حالة وجود استعداد للخزان لحفظ جزء من سعة تخزينية كحماية ضد التدفق المفاجئ الداخل. ما سبق ذكره يوضح أنه في حالة الخزانات الضخمة، يكون الأساس وجود الرصد للتنبؤ الدقيق للفيضان ولكن الاستعداد لحفظ التخزين مقابل فيضان ثاني بحيث أن عمل الخزان يصبح مؤثر حقيقي.

جـ- الخزانات متعددة الأغراض: Muti-purpose Reservoirs

الخزانات متعددة الغرض لها خواص خدمة غرضين أو أكثر كما في حالة امتصاص الفيضان وكذلك حفظ المخزون. لذلك فإنه يكون من الضروري أن الخزانات متعددة الغرض يتم تخطيطها لاحتواء الظواهر المستقلة لوظائفها. أي؛ بينما يتم وضع مكان منفصل للفراغ لكل من الاستخدامات، فإن عمل الخزان يجب أن يدمج الوظائف لتلك الاستخدامات.

عمليًا، دمج مختلف الوظائف المختلفة ليس من السهل تحقيقه، فمثلا، في حالة الخزانات ذات التحكم في الفيضان وحفظ المخزون، قد يكون من الضروري تحديد الفراغ المخصص في الخزان لكل استخدام. بينما التحكم في الفيضان سيتطلب المحافظة على المستويات المنخفضة للخزان، فحفظ التخزين قد يتطلب استمرار المستوى مرتفعا ما أمكن ذلك. حيث أن كلاً المطلبين ليسا متوافقين، فإنه قد يكون هناك توافق حيث جزء من حفظ التخزين يجب أن يؤخذ بغرض امتصاص

الفيضان في بداية الموسم واستنزاف التخزين المحتجز إلى الوضع الطبيعي عند نهاية موسم الفيضان شكل (٦/١٤).



شكل (٦/١٤) عمل الخزان متعدد الأغراض

بجانب التوافق بين مختلف الاستخدامات، قد يكون من الضروري كذلك تثبيت أولوية مختلف الاستخدامات في العمل الحقيقي للخزان متعدد الأغراض نظرًا لأن الاقتراب الأساسي هو واحد من الاختيار التبادلي، فإنه يجب أن يتم عمل خطة العمل التي تسمح بأقصى عمل لمختلف الاستخدامات وكذلك الاختيار الحكيم للعناصر الطبيعية، مثل الخزان، الفيض، بوابات التحكم، محطة الطاقة.. إلخ.. للمشروع. ولكن، بسبب الطبيعية المتعارضة لمتطلبات مختلف الاستخدامات، قد يكون من الصعب تداول مستويات الخزان بما يحقق تلك المطالب نظرًا لأن الكثير من هذه الخزانات تقلل ذروة الفيضان وتلفيات الفيضان. قد لا تحقق الحصول على أقصى فائدة من ناحية التحكم في الفيضان. في مثل هذه الحالات، فإنه بدلاً من الخزان الواحد متعدد الأغراض، فإن نظام الخزانات عند المواقع الإستراتيجية في مستجمع المياه قد يحقق فائدة أكثر.

الفصل السابع

نقل المياه السطحية خلال مآخذ النهر ومخارج السد

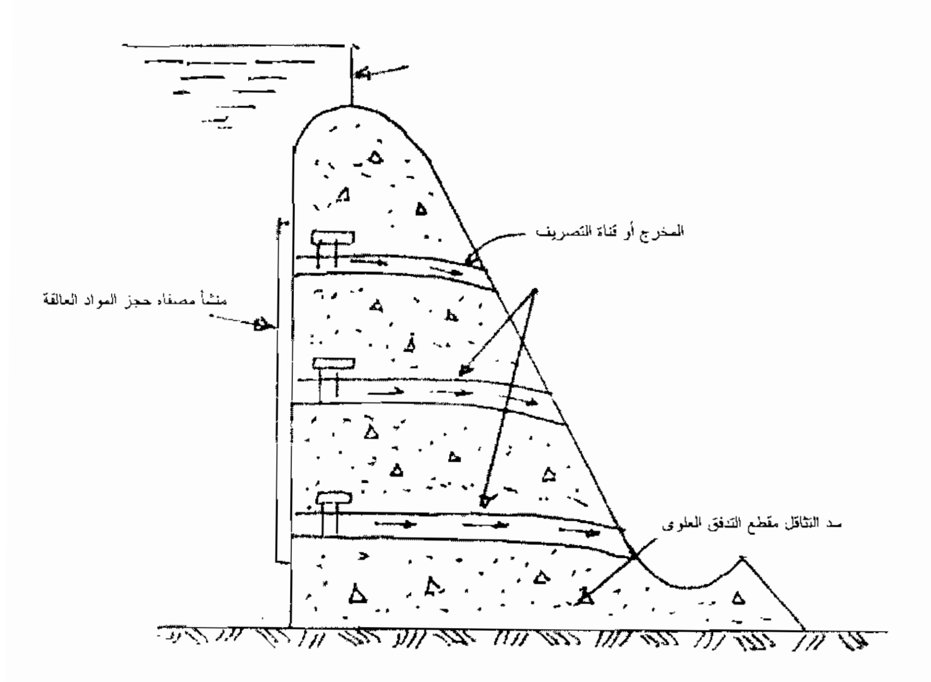
١- قنوات التصريف خلال السدود: Sluice Ways Through Dams

معظم المياه المحجوزة في الخزان للري، للإمداد بالمياه، أو لتوليد الطاقة تكون مخزنة أسفل منسوب قمة المفيض (Spill way crest Level) المفيض يتم إعداده عند المستوى العادي للحوض، بحيث أن يتم صرف الفيضانات بأمان فوق المفيض. ولكن، بغرض سحب المياه من الخزان كما في حالة الحاجة إلى الري أو الإمداد بالمياه أو الملاحة أو إنتاج الطاقة فإنه يكون من الضروري أن إشغال المخرج تكون إما خلال جسم السد أو قريبًا منه خلال جانب تل عند أحد أجناب السد. هذا الماء يمكن أن يتم صرفه نحو قناة الصرف أسفل السد أو قد ينقل على مسافات خلال أنابيب أو قنوات (لبعض محطات الطاقة). الفتحة أي الأنبوب أو النفق الذي يتم إنشاؤه لسحب تلك المياه يعرف بقناة المخرج أو تصريف المياه.

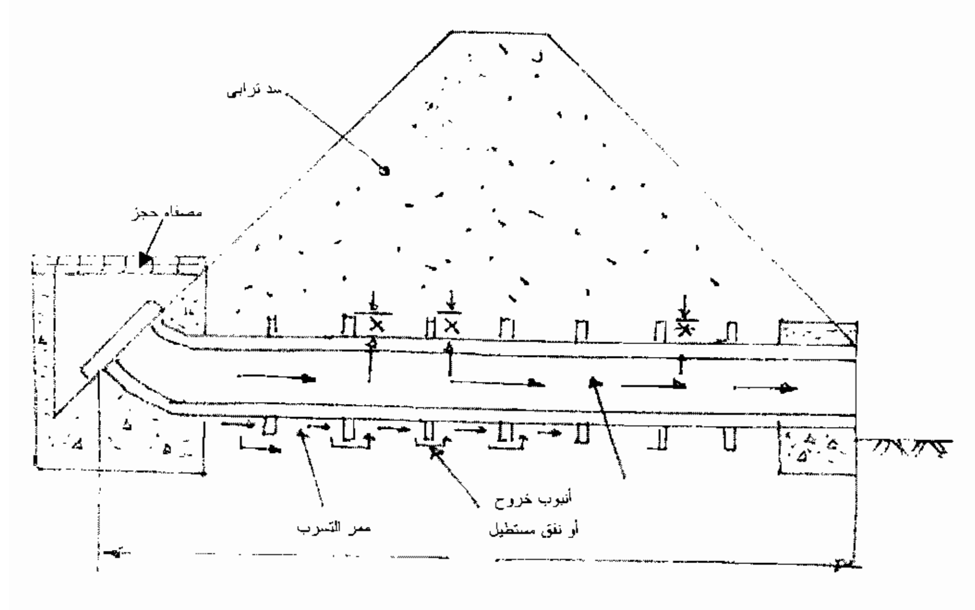
مخارج معظم السدود تتكون من واحد أو اثنين من قنوات التصريف حيث مدخلهم عند أدنى مستوى للحوض. في معظم الحالات، يتم توفير عدد من المخارج عند مستويات مختلفة، حيث المخرج الوحيد الضخم قد يكون من الصعب إنشاؤه أو أن يكون غير كافيًا. كذلك فإن وجود عدد أكبر من المخارج ذات السعة الصغيرة، فإنه يمكن إحكام السيطرة والتحكم على التصرف، والذي يمكن أن يتغير عند الحاجة. لذلك، فإنه عند وجود تغيرات متعاقبة أكثر اتساعًا في الطلب فإنه ينصح دائمًا باللجوء إلى قنوات التصريف ذات الطاقة الأصغر، ذلك رغم أنها يمكن أن تكون أكثر تكلفة مقارنة بقنوات التصريف ذات السعة الكبيرة.

قناة التصريف هي أنبوب أو نفق، ذو مقطع مستدير أو مستطيل، الذي يمر خلال جسم السد أو خلال تل جانبي عند أحد أجناب السد ويصرف في المجرى المائي أسفله. في حالة السدود الترابية أو السدود المبنية (Masonary)، فإن، قنوات التصريف تلك يمكن أن تمر بسهولة خلال جسم السد أو المفيض (قناة تصريف الفائض) (Spill way) شكل (٧/١)، ولكن بالنسبة للسدود الترابية، فإنه يفضل وضعهم خارج حدود الحواجز الترابية (Embankments). ولكن في حالة عدم توفر موقع تل مجاور ولا يوجد بديل سوى مرور قناة التصريف خلال السد، فإنه يجب توفير الطوق أو الجلبة المسننة وهي اسطوانة تربط أنبوبتين (collars) ذات البروز أو النتوء وذلك لخفض التسرب على طول خارج الأنبوب (Outside conduit).

كما هو موضح في الشكل (٧/٢). بذلك فإن التسرب يقل بزيادة طول ممر التسرب بنسبة لا تقل عن ٢٥%.



شكل (٧/١) منظم المخرج خلال سد التثاقل الخرسانى



شكل (٧/٢) المخرج خلال السد الترابى

في الشكل (٢) إذا كان الطول الكلي لقناة الصرف من اتجاه المنبع إلى اتجاه المصب هو (L)، فإن طول ممر التسرب سوف يكون L + (2 X)N (١)

حيث:

X = بروز كل جلبة (أو طوق)،

N = هو عدد البروزات.

الزيادة في مسار التسرب أي (2 NX) يجب أن يزيد عن L ÷ 4. داخل قناة الصرف سواء كانت نفق أو أنبوب، يجب أن يكون ناعمًا بدون أي عوائق أو فجوات. العوائق أو الفجوات Projections or Cavities .. الخ في حالة وجودها قد تسبب فصل للتدفق من تخوم وحدود قناة الصرف، بما يسبب تكوين ضغوط سالبة وبالتالي خطورة التكهف (Cavitation). كذلك فإن مدخل قناة التصريف له أهمية كبيرة، حيث المدخل ذو الطرف المربع (sqaure Edged) شكل (٣ – ٧/أ) يحتمل أن يسبب فصل للتدفق وبالتالي زيادة خطورة التكهف مقارنة بنوع المدخل البوقي أو الناقوسي (Bell

(Mouthed) أو أي شكل آخر للدخول. يوجد العديد من مثل هذه الحالات حيث حدث العديد من حالات التدمير بسبب التكهف قريبًا من المداخل ذات الطرف المربع. المدخل البوقي شكل (٣ – ب/٧) هو الأفضل من بين كل الأنواع الأخرى، والتكلفة العالية لتشكيل هذا المدخل يتم تبريرها عدا في حالة المشروعات الصغيرة حيث الارتفاعات الصغيرة لضغط المياه.

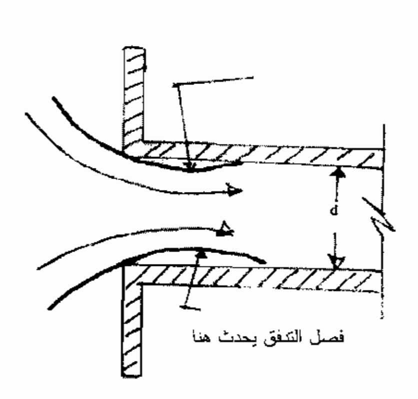
شكل المدخل البوقي يكون عادة بيضاوي واقترحت له المعادلات الآتية:

١ – للقناة المستديرة: (Circular Conduits).

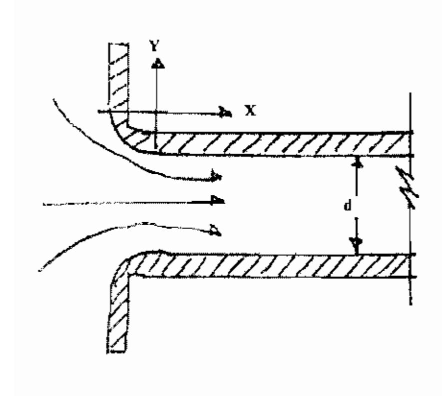
$$4\,x^2 + 44.4\,Y^2 = d^2$$

حيث:

كلاً من X ، Y هما إحداثيات لأي نقطة على المنحنى كما هو واضح في الشكل (٣–ب).



أ– مدخل الطرف المربع



ب– مدخل الطرف المستدير

شكل (٧/٣) أشكال المداخل

d = القطر الدائري.

ب – للقنوات أو الأنفاق المربعة:

$$X^2 + 10.4\ Y^2 = d^2$$

حيث:

Y . X هما نفس المعنى السابق.

D = عرض أو ارتفاع القناة أو النفق طبقًا لتصميم الأجناب والقمة والقاع.

هيدروليكا أشغال المخرج: Hydraulics of Outlet Works

الصرف المار خلال مخرج السد يمكن حسابه بسهولة باستخدام المعادلة الآتية:

$$Q = C_d . A\sqrt{2gH}$$

حيث:

Q = التصرف

A = مساحة قناة التصريف ذات بوابة التحكم بالمخرجArea of Outlet Sluice

H = الفرق في ارتفاع عمود الماء المسبب للتدفق أي الفرق في منسوب المياه في اتجاه المنبع وفي اتجاه المصب.

C_d = معامل التصريف الذي تعتمد قيمته على عوامل عدة مثل نوع البوابة (Gate)، مصفاة المدخل لحجز المواد الكافية (Trash Rack)، مدخل لقناة، احتكاك القناة، البوابات والمحابس، الانحناءات.

يمكن أن يؤخذ فقد الدخول بمقدار:

$0.5\ \frac{V2}{2g}$ للمدخل ذو الطرف المربع ويساوى $0.4\ \frac{V2}{2g}$ للمدخل البوقي.

حيث:

V = سرعة التدفق خلال القناة

الفقد في الضغط بسبب احتكاك النفق يمكن حسابه بالمعادلة القياسية مثل،

$$h_L = \frac{fLV^2}{2gd}$$

الفقد في الضغط خلال البوابة يتوقف على نوع البوابة والمحبس المستخدم.

يتم اعتبار مقدار الفقد ليكون $\frac{V2}{2g}$ = 0.2 في حالة البوابة تامة الفتح ومحابس الفراشة. ويكون صفر للبوابات أو المحابس اللاحقة.

الفقد في الضغط خلال مصفاة المدخل لحجز الأجسام العالقة (Trash Racks).

جدول (٧/١) الفقد في الضغط خلال شبكة الحجز للأجسام العالقة

السرعة خلال القطاع المسنن بالمتر	الفقد في الضغط بالمتر
٠,١٥	٠,٠٠٦
٠,٣	٠,٠٣
٠,٤٥	٠,٠٩
٠,٦٢	٠,١٥

صافي الضغط المؤثر المسئول عن التدفق يتم أخذه كالآتي:

الضغط المؤثر (H_{eff}) = فرق الضغط الرأسي (H) – الفقد فى الضغط عندئذ يمكن حساب التصرف بسهولة باستخدام المعادلة

$$Q = A.\sqrt{2g.H_{eff}}$$

المياه اللازمة لتوليد الطاقة المائية:

Water Requirement for Hydropower Generation:

استخدام الطاقة المائية في توليد الطاقة الكهربية يتم من خلال تدوير ريش التربينات بطاقة التدفق للمياه، وبذا إنتاج الطاقة الكهربية من المولد المتصل بالتربينات. إنتاج الطاقة الكهربائية باستخدام طاقة التدفق للمياه يعتبر من الاستخدامات الممتازة للمياه حيث لا يتم استهلاك ماء في هذا الاستخدام. فقط يلزم أدنى ضغط معين والذي يتبدد في إنتاج الطاقة.

كمية الطاقة المولدة عند سقوط Q من الماء بمقدار متر مكعب في الثانية خـــلال فرق إرتفاع H بالمتر يتم حسابها بالمعادلة التالية:

طاقة الماء المنتجة = $Y_w . Q . H$

حيث:

Y_w= وحدة الوزن للماء

= ٩,٨١ كيلو نيوتن/ المتر المربع ($9.81\ KN/m^2$)

= ٩,٨١ كيلو نيوتن – متر/ الثانية (أي كيلوات)

لذلك فإن الطاقة الكهربية أو القدرة بالكيلوات تكون لذلك فإنها تعطي كالآتي:

$$P = 9.81\ \eta\ .\ QH\ (K.watts)$$

حيث:

η = الكفاءة الكلية للترُبين والمولد.. إلخ.

قوة الحصان المترية المولدة (بقسمة الكيلوات على ٠,٧٣٥)

$$= \frac{9.81\eta.QH}{0.735} = 13.33\eta QH$$

باستخدام ٨٠% كفاءة عندئذ:

الطاقة الكهربية = ٩,٨١ × ٠,٨ × Q × H كيلوات

= ٧,٨٤ H.Q كيلوات

حيث:

H = الضغط التصميمي (Design Hear) بالمتر

Q = التصرف التصميمي (Design Discharge) بالمتر المكعب في الثانية

بهدف ضمان استمرار إنتاج الطاقة المائية، فإنه يكون من الأساسي تخزين المـــاء إلى ارتفاع معين ثم صرفه خلال الترُبينات.

لذلك فإن بناء السد متعامد على النهر لتخزين المياه على الجانب في اتجاه المنبع يكون لازما لتوليد الطاقة المائية. أحيانًا يمكن استخدام قناة أو نبع طبيعي دائم بمساعدة أو بدون مساعدة إنشاء هدار عبره، لإقامة محطة طاقة مائية ذات قدرة صغيرة. كذلك يمكن استخدام طاقة موج البحر خلال ارتفاع المد (Tidal Rise) والسقوط التوليد الطاقة المائية. طبقًا لتلك العوامل، يمكن إنشاء الأنواع الآتية من محطات الطاقة المائية.

١. محطات التخزين.
٢. محطات التخزين بالضخ.
٣. محطات نهر التدفق السطحي.
٤. محطات المد.

تقسيم محطات الطاقة المائية على أساس الخواص الهيدروليكية:

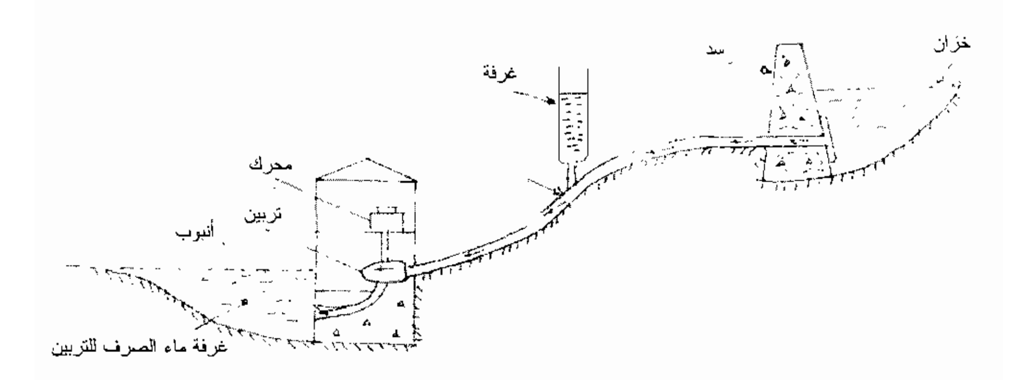
١. محطات التخزين (Storage plants)

محطة التخزين لها أساسًا خزان حجز في اتجاه المنبع بالحجم الكافي، بما يسمح بالحمل الكافي للتخزين خلال موسم الفيضان، وبما يوفر تدفق ثابت وكافي يزيد عن أدنى تدفق طبيعي للنهر. في هذا الشكل يتم بناء سد عمودي على النهر ومحطة الطاقة توضع عند قدم السد. محطة الطاقة قد توضع أحيانًا بعيدة عن السد (على جانب المصب). في هذه الحالة، فإن محطة الطاقة توضع عند نهاية الأنفاق التي تحمل المياه من الخزان. الإنفاق يتم اتصالها بماكينات محطة الطاقة بواسطة قنوات ضبط جريان المجرى (Penstocks) التي يمكن أن تكون تحت الأرض أو تبقى مكشوفة.

عند وضع محطة الطاقة قريبًا من السد، كما يتم عادة في الإنشاءات ذات الضغط الرأسي المنخفض فإنها تعرف Concentrated fall Hydro electric Development. ولكن عند حمل المياه إلى محطة الطاقة إلى مسافة كبيرة بعيدة عن السد خلال قناة أو نفق أو قناة ضبط المجرى فإنها تعرف بـ (Divided Fall Development).

٢. محطات التخزين بالضخ (Pumped storage plants)

محطة التخزين بالضخ تقوم بتوليد الطاقة خلال ساعات الذروة، ولكن في غير ساعات الذروة، يتم ضخ الماء ثانيًا من حوض المياه المنصرفة بعد التدوير (Tail Water) إلى حوض الماء في المنسوب العالي (Head water) للاستخدام المستقبلي. الطلمبات يتم تشغيلها بقوة ثانوية من محطة أخرى. المحطة لذلك تعني أساسًا بمساعدة محطة طاقة حرارية موجودة أو محطة طاقة مائية. مقطع نموذجي لمحطة التخزين بالضخ موضح في الشكل (٧/٤).



شكل (٧/٤) مقطع خلال محطة تخزين الضخ

خلال ساعات الذروة تتدفق المياه من حوض المياه العلوي إلى التربينات ويتم توليد الكهرباء. في أوقات غير ساعات الذروة فإن الفائض من الطاقة المتاح من محطة أخرى، يتم استخدامه لضخ الماء ثانيًا من حوض المياه المنصرفة بعد التدوير إلى حوض المياه العلوي. تلك المحطة الصغيرة تقوم عندئذ بدعم الطاقة لمحطة طاقة أخرى كبيرة. في هذا المخطط فإنه يتم استخدام نفس المياه مرات ومرات بدون الفقد في المياه.

في حالات الارتفاع ما بين ١٥ – ٩٠ متر، يتم استخدام طلمبات التربينات العاكسة والتي يمكن أن تعمل كتربين وكذلك كطلمبة ضخ. مثل هذه التربينات العكسية يمكنها العمل عند كفاءة عالية نسبيًا وأن تساعد في خفض تكلفة المحطة.

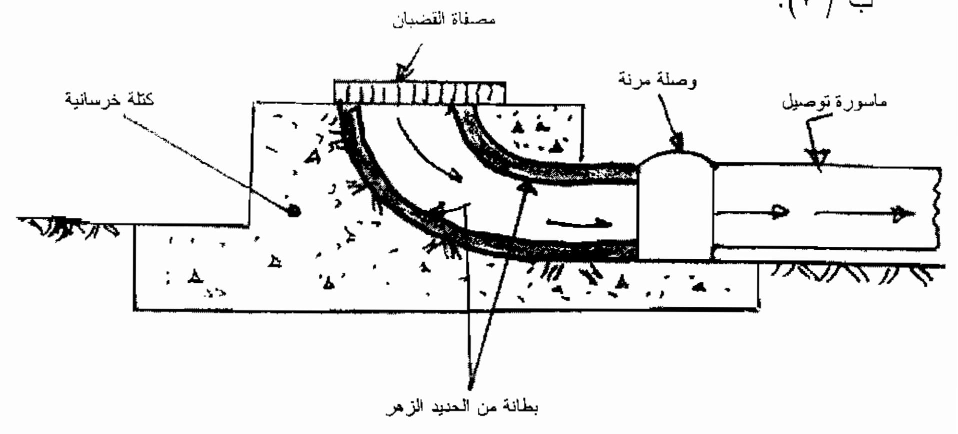
بالمثل فإن نفس الماكينات الكهربية يمكن أن تستخدم كمولد وكذلك كمحرك وذلك من خلال تبديل (عكس) الأقطاب. توفير هذا النظام يساعد كثيرًا في تحسين معامل التحميل لنظام الطاقة.

٣. مآخذ النهر (River Intakes)

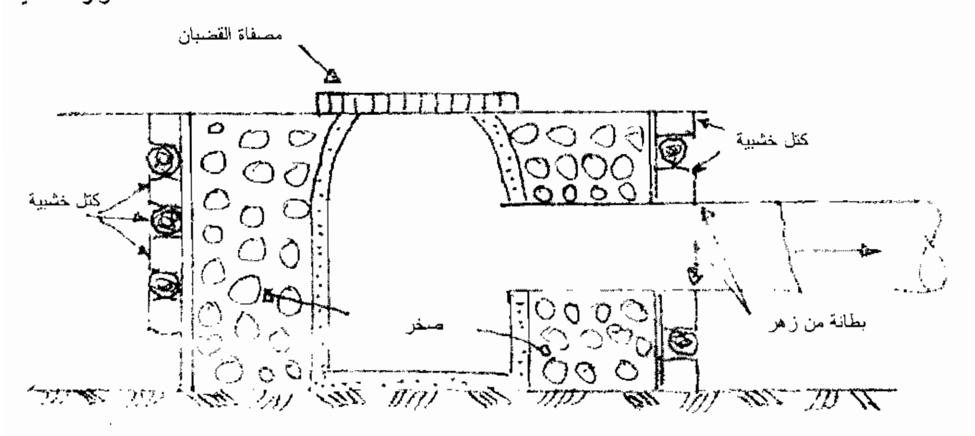
عند سحب المياه خلال مجرى أو قناة أو أنبوب توصيل (conduit)، من نهر أو من خزان، عندئذ فإن مدخل المجرى أو أنبوب ليس جزء مكملاً للسد أو منشأ آخر مرتبط به، عندئذ فإنه يجب إنشاء منشأة المأخذ عند مدخل المجرى أو القناة. منشأ المدخل يمكن أن يتغير مثل كتلة خرسانة بسيطة تحمل نهاية أنبوب التوصيل إلى أبراج خرسانية ضخمة، طبقًا لمختلف العوامل مثل، الظروف المناخية.. فإن المهمة الرئيسية لمنشأ المأخذ هو للمساعدة في تأمين سحب المياه من الخزان خلال مجال سابق تحديده من مستويات الحوض وبذا لحماية أنبوب التوصيل من التلف أو الانسداد بالثلج، المواد العالقة، الأمواج... الخ.

أ- المآخذ البسيطة المغمورة (Submerged Intakes)

المأخذ البسيط المغمور يتكون من كتلة خرسانية بسيطة أو من الصخر المملوء بجذوع الأشجار لحمل البداية الطرفية لأنبوب السحب كما في الشكل (٥ أ، ٥ ب / ٧).



شكل (٥-أ/٧) كتلة خرسانية بسيطة للمأخذ المغمور



شكل (٥-ب/٧) مأخذ مغمور من الصخر وجذوع الأشجار

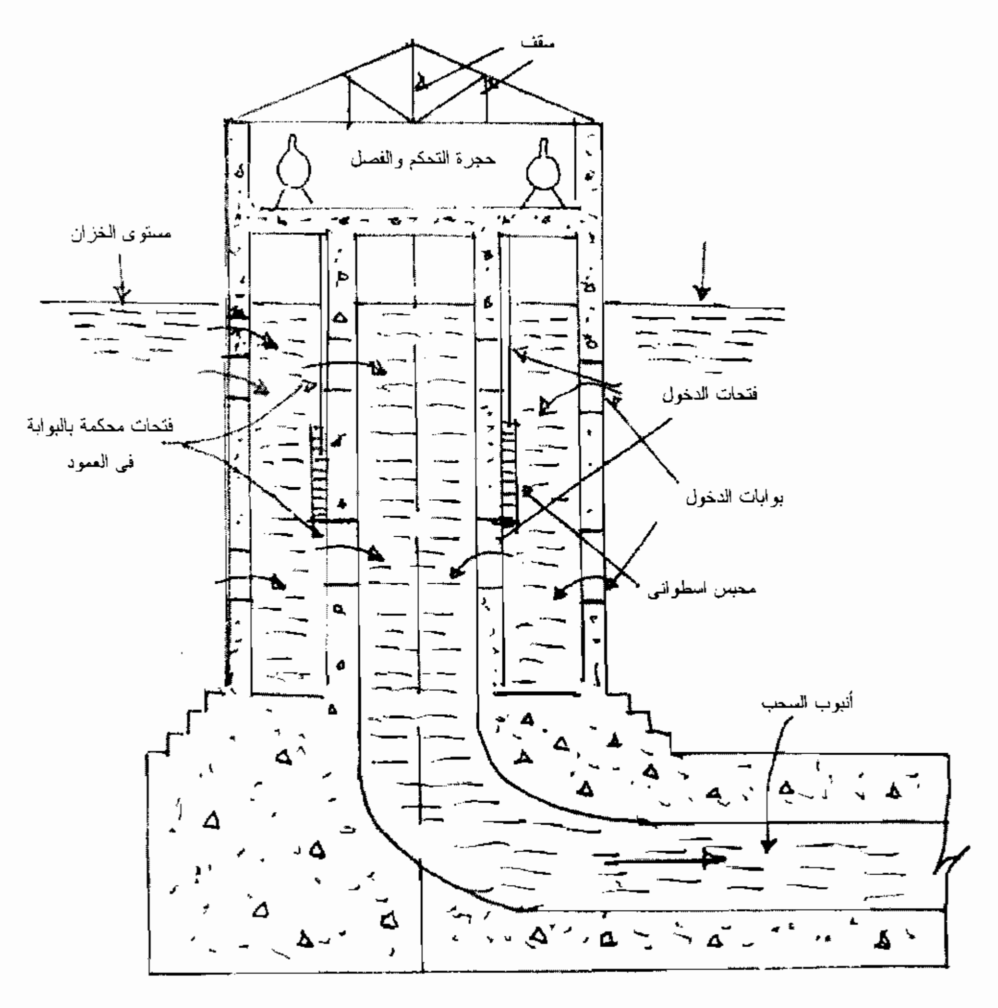
شكل (٥- /٧) المآخذ المغمورة

منشأ المأخذ هذا يتم وضعه في النهر أو خزان في مكان بحيث لا يتم ردمة تحت الرواسب. تلك المآخذ المغمورة رخيصة التكلفة ولا تعيق الملاحة، ولذلك واسعة الاستخدام على الأشكال الصغيرة، وهي مناسبة تحديدًا عند مآخذ الإمداد بالمياه من الأنهار وهي تستخدم أحيانًا كمآخذ لقنوات التصريف (Sluice Ways) للسدود الترابية مع البوابات والمحابس التي تعمل هيدروليكيًا لتنظيم التدفق. هذه المآخذ لا تستخدم في المشروعات الضخمة، حيث أن عيوبها الرئيسية هي حقيقة أنه ليس من السهل الاقتراب منها لإصلاح بواباتها.. إلخ.

ب- *أبراج المأخذ (Intake Towers)*

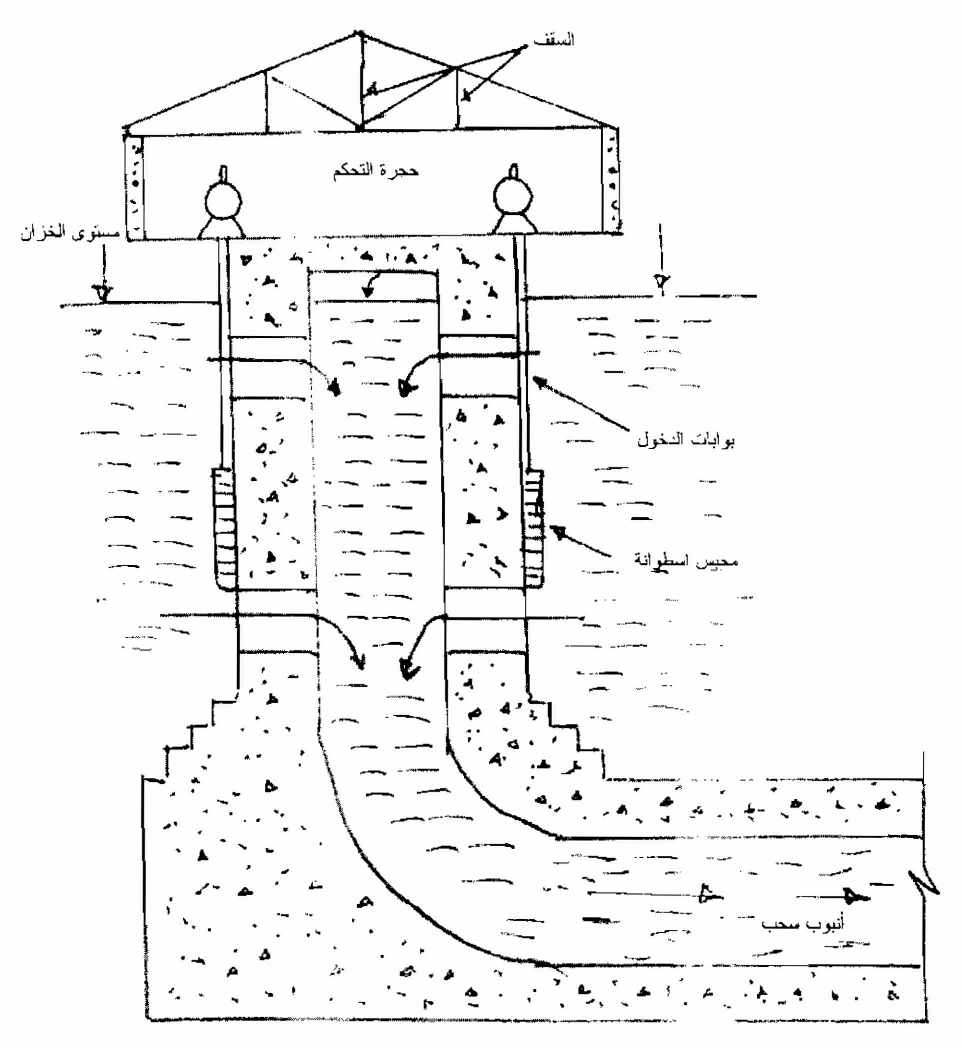
أبراج المأخذ تستخدم عمومًا في المشروعات الضخمة وحيث تغيرات كبيرة في مناسيب المياه. الفتحات عند المناسيب المختلفة تسمى بوابات (Ports) وهي عمومًا مزودة في الأبراج الخرسانية هذه، والتي قد تساعد في تنظيم التدفق خلال الأبراج وتسمح باختيار نوعية المياه إلى حد ما لسحبها. إذا كانت البوابات مغمورة عند كل المناسيب، فإنه عندئذ لا توجد مشكلة من الانسداد أو التلف بالثلج أو الأعشاب.. إلخ، ولكن منسوب البوابة السفلية يجب أن يكون عاليًا بما يكفي ليكون فوق قاع الخزان، لذلك فإن الرواسب لا يتم سحبها منهم. يوجد نوعين من أبراج المأخذ. هما أبراج المأخذ الرطب، أبراج المأخذ الجاف.

(١) **أبراج المأخذ الرطب: (Wet Intake Towers)** مقطع في برج المأخذ الرطب موضح في الشكل (٦- أ/٧). وهو يتكون من غلاف خرساني دائري مملوء بالماء حتى منسوب الخزان، وله عمود داخلي رأسي متصل بأنبوب السحب. الفتحات تكون مصنوعة داخل العمود الخرساني كذلك. البوابات تكون عادة موضوعة على العمود، بما يمكن من التحكم في تدفق المياه نحو العمود وماسورة السحب.



شكل (٦-أ/٧) مأخذ البرج الرطب

(٢) **أبراج المأخذ الجاف: (Dry Intake Towers)** الفرق الرئيسي بين برج المأخذ الرطب وبرج المأخذ الجاف هو أنه بينما في حالة برج المأخذ الرطب، تدخل المياه من بوابات الدخول نحو البرج ثم تدخل إلى أنبوب السحب خلال بوابة منفصلة بفتحات محكمة، على الجانب الآخر في البرج الجاف يتم السحب المباشر للماء إلى أنبوب السحب خلال محابس بوابات الدخول شكل (٦ – ب/٧).

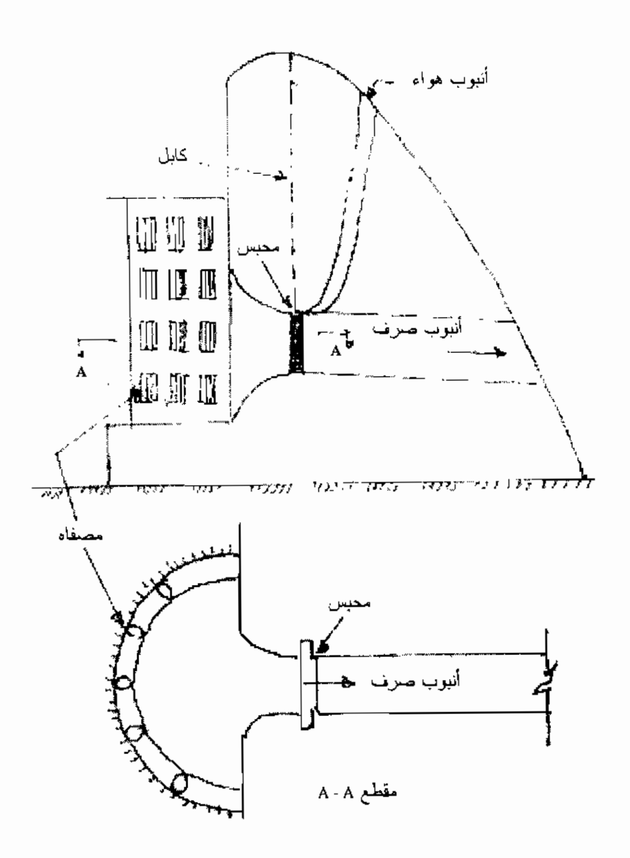


شكل (٦–ب/٧) مأخذ البرج الجاف

برج المأخذ الجاف لذلك، سوف لا يكون بداخله مـــاء إذا كانـــت بواباتـــه مقفولة. بينما برج المأخذ الرطب يكون مملوء بالماء حتى فى حالة بواباته المقفولة. عند قفل بوابات الدخول، فإن برج المأخذ الجاف سيكون معرضًا إلى قوي الطفو الإضافية، ولذا، يجب أن يكون المنشأ ثقيل أكثر من بـــرج المأخذ الجاف. ولكن، أبراج المأخذ الجاف مقيدة في أن الماء يمكن ســـحبه من أي منسوب يتم اختياره للخزان بفتح البوابة عند ذلك المنسوب. أبـــراج المأخذ هي إنشاءات ضخمة مقامة في النهر وبذا يجب أن يـــتم وضـــعها بحيث لا تحدث تداخل مع حركة الملاحة، كما يجب أن يتم تصميمها جيدًا لتكون قادرة على تحمل أسوأ تجميع ممكن لمختلف القوى مثـــل الـــضغط الهيدروستاتيكي، الرياح، قوي الزلزال، والقوى المسببة للأمـــواج، الـــثلج، الأعشاب.. إلخ.

٤. مصافي حجز المواد العالقة: (Trash Racks)

المداخل لمآخذ ومخارج السدود تكون مغطاة بمصافي الحجز لمنع دخول المـــواد العالقة إلى أنابيب السحب. وهي عبارة عن مصفاة القضبان المصنوعة من قضبان الصلب مفاصل ٥ – ١٥سم في كلا الاتجاهين سرعة الدخول خلال المصفاة تكون منخفضة إلى أقل من ٠,٦ متر في الثانية لخفض الفقد. وأحيانًا تكون مصفاة حجز المواد في شكل نصف اسطوانة كما في الشكل (٧/٧) يتم إزالة المـــواد الطافيـــة المتراكمة على المصفاة يدويًا أو آلياً في حالة توقع كثرة المواد المتراكمة.



شكل (٧/٧) مصفاة الحجز نصف اسطوانة ومحبس الجرار

الفصل الثامن

قياسات الانسياب السطحى وتدفق المجرى

Run Off and stream Flow Measurement

١- مقدمة:

عملية الانسياب السطحي تم شرحها في الفصل رقم (١). لقد تمت الإشارة إلى أن الانسياب السطحي من مستجمع المياه المحتوى على التدفق فوق الأرض، والتدفق البيني (Inter Flow) وتدفق المياه الجوفية وكل هذه الثلاث تساهم في تدفق المجرى. بينما يبدأ التدفق فوق الأرض بعد الترسيب مباشرة، فإن التدفق البين يكون أبطأ ويكون تدفق المياه الجوفية أبطأ كثيرًا. إذا أحدثت العاصفة بعض الترسيب فوق ساحة، فإن كلا من التدفق فوق سطح الأرض والتدفق البيني يصل المجرى في خلال ساعات بينما استجابة تدفق المياه الجوفية قد يستغرق أيامًا إن لم يكن شهورًا. لأغراض التحليل فإن التدفق فوق الأرضي والتدفق البيني يمكن جمعهما معًا وهذا الجزء من التدفق يسمى التدفق المباشر أو التدفق السطحي Direct Run off or surface Run Off. بمعنى أن تدفق المياه الجوفية يمكن أن يسمى تدفق غير مباشر أو تدفق قاعدة (Base Flow) ذلك لأن تدفق المياه الجوفية إلى المجرى يمكن أن يستمر بدون تغير إلى حد ما حتى في حالة عدم وجود ترسيبات على الإطلاق.

بعد التدفق خلال حوض الصرف، فإن التدفق يدخل المجرى. طبقًا للحجم، الشكل، الميل، الصرف.. الخ للحوض، قد يكون هناك بعض التخزين في الحوض يسبب تأثير كبير على التدفق بحيث أن أي زيادة في تدفق المجرى الذي يلي العاصفة الممطرة سوف لا يكون بنفس المعدل كالزيادة في سقوط المطر المؤثر، أي سقوط المطر المساهم مباشرة في التدفق. هذا يبين أن كلاً من العوامل المناخية مثل

الترسيب، تحرك العاصفة، البخـــر.. الـــخ، وكـــذلك العوامـــل الطبيعيـــة الجغرافيـــة (Physiographic) مثل المساحة، الشكل، الارتفاع، ميــل الحـــوض .. الـــخ لحـــوض الصرف يلعب دورًا هامًا في تحديد أدنى ومتوسط وأقصى تدفق للمجرى.

تدفق المجرى لكونه مجال التدفق للدورة المائية فإنه يحتاج إلى قياسه بدقة حيـــث أنه يوفر البيانات الأساسية الهامة للدراسات المائية ونظرًا لأن الميـــاه مـــن حـــوض الصرف تكون عادة مركزه في قناة واحدة، فإنه يكون من الممكن القياس بدقـــة لكـــل كمية التدفق عند أماكن معينة مع ترك المياه للحوض.

في هذا الفصل سيتم أولاً التعامل مع وصف العوامل المختلفة ذات التـــأثير علـــى التدفق على حوض الصرف ثم مناقشة الطرق المختلفة لقياسات تدفق المجرى.

٢- العوامل ذات التأثير على التدفق: Factors Affecting Run Off:

عمومًا فإن اهتمامنا ينصب على تعيين أدنى تدفق، التدفق المتوسط، وأقصى تدفق لفيضان المجرى. المياه بعد التدفق خلال حوض الصرف تدخل إلى المجـــرى. طبقًـــا لحجم وشكل وميل الصرف.. الخ للحوض، فإنه سوف يكـــون هنـــاك بعـــض تـــأثير للتخزين في الحوض. الزيادة في تدفق المجرى لن تكون بنفس معـــدل الزيـــادة فـــي السقوط المؤثر للمطر (سقوط المطر الذي يساهم مباشرة في التـــدفق، بـــسبب تـــأثير التخلف الذي يعود إلى التخزين في الحوض). هذا يبين أنه بعيدًا عن العوامل المناخية (الترسيب، حركة العواصف، التبخير. الخ)، فإن العوامل الطبيعية الجغرافية لحـــوض الصرف تقوم بدور هام نحو تحديد الأنواع الثلاث لتدفقات المجرى التي سبق ذكرهـــا. تأثير مختلف العوامل المؤثرة على التدفق سيتم مناقشتها كالآتي:

أ – العوامل المناخية(Climatic Factors)

العوامل المناخية الرئيسية ذات التأثير على التدفق هي كالآتي:

(١) خصائص الترسيب – النوع، الشدة، المدة، توزيـــع ســـقوط الأمطـــار وتحـــرك العاصفة.

(٢) ظروف مناخية أخرى – درجة الحرارة، سرعة الريح، الرطوبة النسبية، متوسط الضغط الجوي الخ.

خصائص الترسيب:

إذا كان نوع الترسيب هو سقوط المطر، عندئذ فإن تأثيره على التدفق يتم الشعور به في الحال شريطة أن شدة سقوط المطر تزيد عن طاقة الرشح. ولكن إذا كان الترسيب في شكل الثلوج بدون مصاحبة درجة حرارة الإذابة، فإن التأثير على التدفق ليس فوري، حيث الثلج الساقط مباشرة على سطح المجرى يسبب زيادة قليلة في التدفق.

شدة سقوط الأمطار التي تزيد عن طاقة الرشح تنتج تدفق، كلما زاد الفرق بين الاثنين، كلما زاد ارتفاع المجرى. بسبب تأثير التخلف الناتج عن التخزين في الحوض، فإن ارتفاع المجرى يمكن أن لا يكون كما يتوقع.

لقد لوحظ أن طاقة الرشح تقل مع زيادة فترة سقوط الأمطار وتقترب إلى قيمة ثانية تقريبًا عند نهاية المطر الذي يستمر لمدة طويلة. لذلك فإن الأمطار ذات المدة الطويلة قد تنتج حجم كبير من التدفق رغم أن الشدة قد تكون متوسطة ولكنها تزيد عن طاقة الرشح. توزيع سقوط الأمطار له تأثير أكبر على التدفق الناتج. كلما زاد التوزيع المتجانس كلما قل ارتفاع المجرى على أساس أن تكون الطبوغرافيا وحالات التربة بدون تغيير خلال الحوض. قياس تجانس سقوط المطر يتم بمعامل يسمى معامل التوزيع. معامل التوزيع يعرف بأنه النسبة بين أقصى سقوط للمطر عند أي نقطة إلى متوسط سقوط المطر على الحوض. زيادة معامل التوزيع، تزيد ارتفاع المجرى أو ذروة التدفق.

العاصفة المتحركة في اتجاه تدفق المجرى أو الصرف الطبيعي تنتج ذروات أعلى في التدفق مقارنة بالعاصفة المتحركة في الاتجاه المعاكس.

في حالة وجود سقوط مطر قصير قبل سقوط المطر العادي وأن تكون رطوبة التربة مشبعة، عندئذ فإنه يتم إنتاج حجم كبير من التدفق لإنتاج ارتفاع سريع في المجرى أو الفيضان.

مما سبق يتضح أن ارتفاع حافة المخطط البياني المائي يــتم إحكامــه بواســطة العوامل المناخية.

حالات مناخية أخرى:

العوامل المناخية الأخرى تشمل درجة الحرارة، سرعة الرياح، الرطوبة النــسبية .. إلخ. تلك العوامل لها تأثير غير مباشر على التدفق كما أنها تحدد توقع التدفق بعــد حساب الفقد بالتبخر والنتح. مثل هذه العوامل قد لا تؤثر على تدفق الفيــضان بــسبب الفترة القصيرة التي يحدث خلالها الفيضان، ولكنها تؤثر إلى حد كبير على أدنى تدفق أو التدفق المتوسط.

ب- العوامل الطبيعية الجغرافية:(Physiographic Factors)

يوجد عدد من العوامل التي يمكن أن تندرج تحت هذا التقسيم، العوامل الهامة هي كالآتي:

أ- مساحة الحوض.

ب-شكل الحوض.

ج- ارتفاع الحوض

د - ميل الحوض

هـ- شبكة الصرف.

و - نوع التربة واستخدام الأرض.

مساحة حوض الصرف:

هي تلك المساحة التي تساهم في التدفق السطحي وترتبط بالتقسيم الطبــوغرافي. التقسيم الطبوغرافي هو خط الفصل الذي يقسم الترسيب الذي يحدث علــى حوضــين صرف متجاورين وتوجيه التدفق السطحي إلى واحد أو لنظام النهر الآخر.

إذا كان حجم التدفق الناتج يظل كما هو عندئذ فإن تسرب مستجمع المياه للحوض ذو المساحة الضخمة سوف ينتج ذروة صغيرة لتدفق الفيضان. هذا يعود إلى حقيقة أن

محور الوقت (Time Base) للرسم البياني المائي سوف يـــزداد مـــع زيـــادة مـــساحة الحوض أي الوقت الذي يستغرقه تدفق الفيضان للمرور خارج محطة القياس ســوف يزيد عندما يكون الحوض كبيرًا.

ينطبق هذا الاستنتاج فقط إذا كان مقدار وشدة سقوط الأمطار مع عوامل أخـــرى يظل ثابتًا في الأحواض لكل الأحجام التي يتم التعامل معها. أدنى تدفق للمجرى يحتمل أن يكون مستمرًا إذا كان حجم الحوض كبيرًا، ذلك لوجود فرصة أكبر لسقوط المطـــر على مكان ما على الحوض. يمكن هنا معرفة أنه بعد توقف التـــدفق الـــسطحي فـــإن التدفق يكون كلية بسبب تخزين المياه الجوفية. متوسط التدفق للمجرى لا يتأثر كثيـــرًا بحجم الحوض.

شكل الحوض(Shape of the Basin)

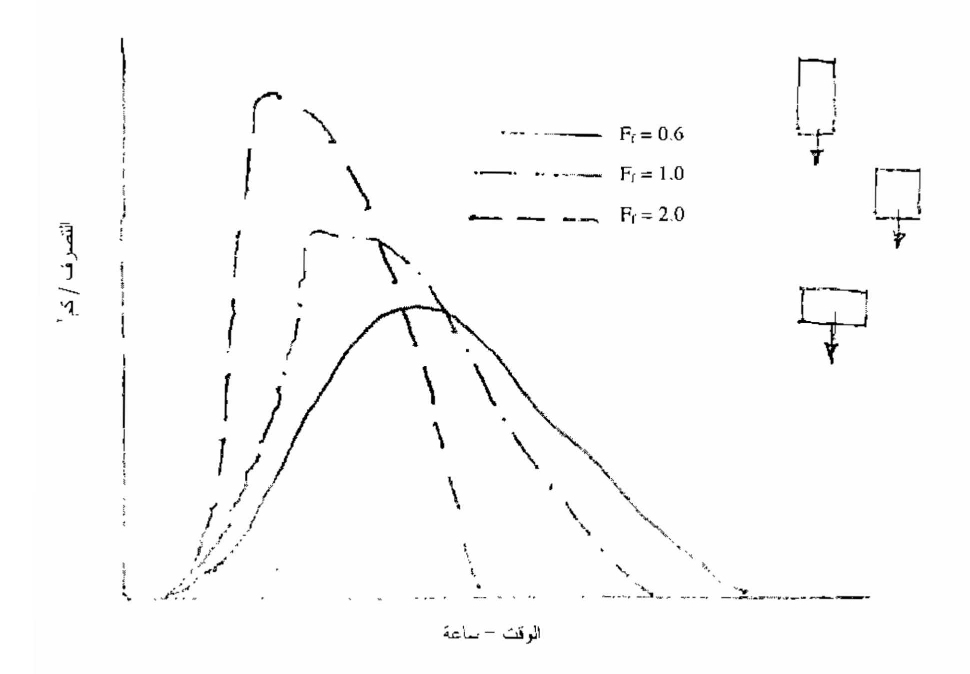
المعدل الذي يتم به إمداد المياه إلى القناة الرئيسية يحكمه أساسًا شـــكل الحـــوض. شكل وذورة المخطط المائي يتأثر بشكل الحوض. يوجد أساسا ثلاثة أنواع من أشـــكال أحواض الصرف، وهم المستطيل، والمستعرض، وفي شكل المروحة شكل (٨/١).

المؤشر السنوي المستخدم عادة لتمثيل مختلف الأشكال هو عامل الـــشكل (Form Factor) ويرمز له بالرمز (F_f) والذي يعرف بنسبة متوسط العرض (W) إلى الطـــول الكلي (L) للحوض.

الطول المحوري (Axial Length) يتم قياسه من نقطة التركيز (المخرج) إلى أبعد نقطة على حوض الصرف ومتوسط العرض يساوي مساحة الحوض مقـــسومة علـــى الطول المحوري. شكل (٨/٢) يوضح التأثير المحتمل لشكل حوض الـــصرف علـــى شكل وذروة المخطط البياني للمياه لمختلف قيم معامل الشكل (F_f). يلاحـــظ أنـــه مـــع انخفاض قيمة (F_f) فإن محور قاعدة الوقت للمخطط البياني يزداد وبذا تنخفض قيمـــة ذروة الصرف.



شكل (٨/١) الأشكال المختلفة لأحواض الصرف



شكل (٨/٢) التأثير المحتمل لشكل الحوض على المخطط المائى

في المقارنة الموضحة في الشكل (٨/٢) تكون مساحات الصرف واحدة. حوض الصرف الذي له معامل شكل منخفض يكون احتمال حدوث سقوط أمطار شديدة في نفس الوقت على كل المساحة ضعيفاً مقارنة بالحوض بنفس المساحة ولكن له معامل شكل أكبر. لذلك فإن صرف حوض الصرف بمعامل شكل أصغر يكون احتمال إحداثه للفيضان قليلاً.

مثال:

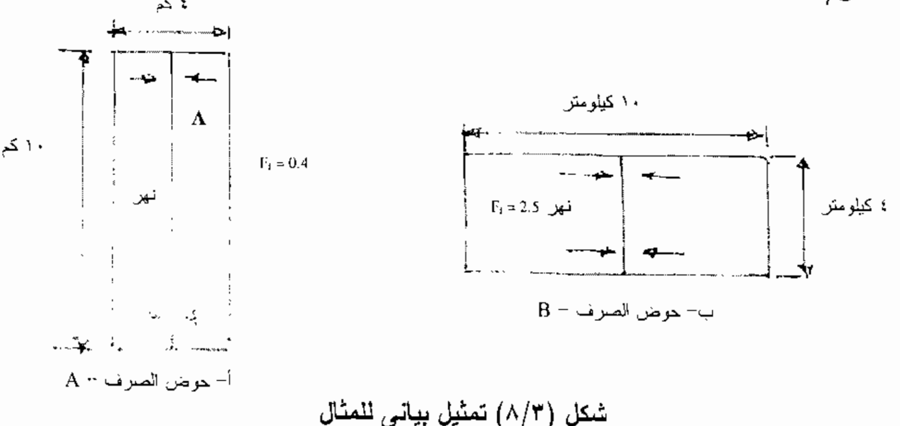
يتم رسم مخططات مائية نظرية عند النقطة (Ó) لحوضين صرف (A)، (B) كما هو موضح في الشكل (٣ – أ)، (٣ – ب) ولهما معامل شكل ($F_f = 0.4$)، ($F_f = 2.5$) على التوالي. كلا الحوضين معرض لشدة سقوط مطر متجانسة بمقدار 0.15 مليمتر/الساعة. فترة سقوط المطر $t_c = t_r$ لحوض الصرف (B) هي نفسها مثل حوض الصرف (A)، هنا (t_c) تعني زمن التركيز. افترض معامل التدفق C = 0.4، في معادلة منطقية لحساب ذروة التدفق. يمكن عمل الفرضيات الآتية:

(i) الميل الطبوغرافي ثابت وتوجد قناة رئيسية واحدة بدون أي روافد فرعية.

(ii) لا يوجد تخزين قناة أو تسيير قناة في مسلك محدد.

(iii) ميل الأرض متجانس نحو القناة الرئيسية.

(IV) سرعة التدفق في القناة = ١,١ متر/ث، سرعة التدفق فوق الأرضي = ٠,١٢ متر/ث.



شكل (٨/٣) تمثيل بيانى للمثال

الحـــل:

حوض الصرف (A)

الخطوة رقم I

زمن التركيز (t_c) هو:

$$t_c = \frac{2000}{0.12} + \frac{10000}{1.1} = 25757.6 = 429.29$$ دقيقة

الخطوة رقم II

فترة سقوط المطر (t_r) = (t_c) = 429.29 دقيقة.

الخطوة رقم III

قاعدة الوقت للمخطط البياني المائي $2tr = T$

لأى وقت $t > t_r$، المساحة المجاورة ستوقف الإمداد بالماء إلى المخرج ولكن الماء سوف يستمر في الوصول إلى المخرج من المـــساحات مـــن الأرض المرتفعـــة المجاورة.

عند الوقت $t = 2t_r = 2t_C$ فإن آخر نقطة مياه تكون قد وصلت النقطـــة (A)، ثـــم عندئذ فإن صرف التدفق سيكون صفرًا عند الوقت $t = t_C$، ويمكن حـــسابه مـــن المعادلة التجريبية الآتية:

$$Qm = \frac{CIA}{360} (m^3/S)$$

حيث:

C = معامل التدفق

A = مساحة الحوض بالهكتارات

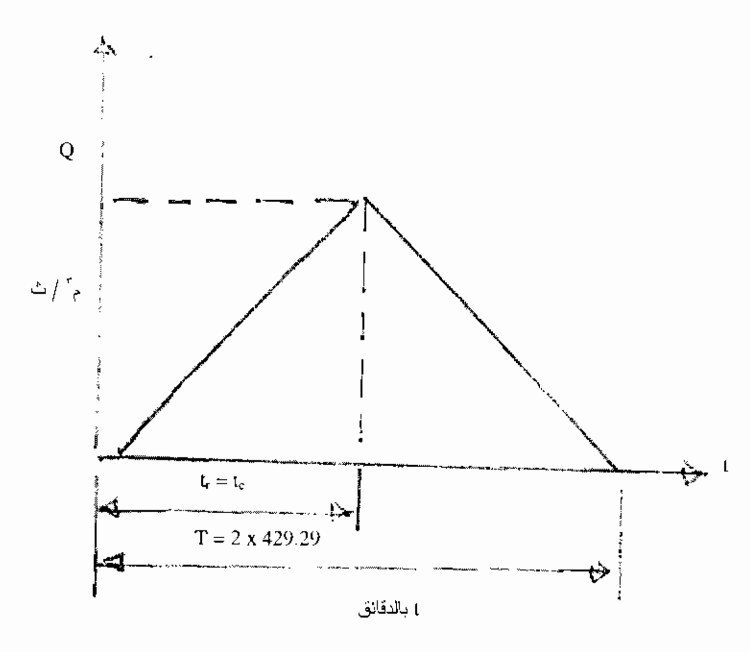
I = شدة سقوط المطر بالمليمتر/الساعة

تفاصيل المعادلة التقليدية موضحة فى الفصول السابقة.

$$Q = \frac{0.4 \times 0.15 \times 4000}{360}$$

= 0.67 متر مكعب فى الثانية

الخريطة المائية أو المخطط البيانى المائى النظرى موضح فى الشكل (٨/٤).



شكل (٨/٤) المخطط البيانى النظرى لحوض الصرف A

حوض الصرف (B)

الخطوة رقم I

زمن التركيز (t_c) هو:

$$t_c = \frac{2000}{0.12} + \frac{4000}{1.1} = 755.05$$ دقيقة

الخطوة رقم II

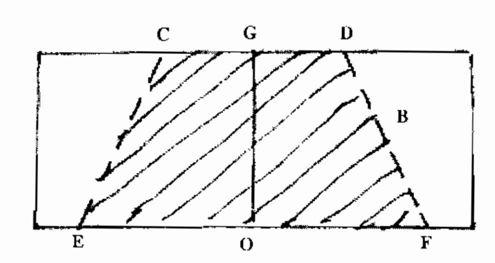
الفترة الزمنية لسقوط المطر = 429.29 دقيقة = t_c.

الخطوة رقم III

حساب مساحة الصرف المساهمة فى التدفق شكل (٨/٥).

حيث أنه فى هذه الحالة tc > tr فإن كل مساحة الصرف سوف لاتكـــون مـــساهمة نحو التدفق.

لنفرض أن المساحة المهشرة من مستجمع المياه تساهم فقط نحو التدفق. لحـــساب هذه المساحة فإنه يتم حساب المسافات (CG)، (EO).



شكل (٨/٥) حساب مساحة الصرف التى تساهم نحو التدفق

(I) $\frac{CG}{0.12} + \frac{4000}{1.1}$ = فترة سقوط المطر = 429.29 دقيقة

$\therefore CG = \frac{(429.29\times60\times1.1-4000)}{1.1}0.12 = 2654.52$ متر

(II) $\frac{EDO}{0.12} + O = 429.29$ متر

$\therefore EDO = 429.29 \times 0.12 \times 60 = 3090.88$ متر

∴ المساحة المصغرة = $A_r = 10^3 \times 4 \times \frac{2654.52\times2+3090.88\times2}{2}$

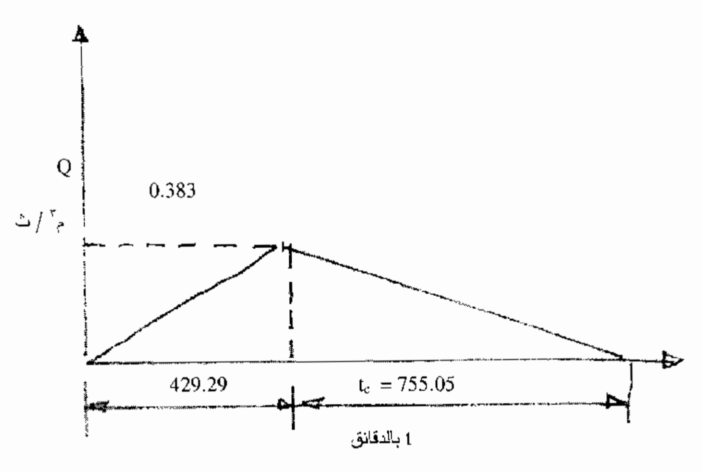
= 22981.6×10^3 متر مربع = 22.9816×10^3 هكتار.

أقصى تصرف = $\frac{CIA}{360}$

= $0.4\times\frac{(0.15)}{360}(22.9816\times10^2)$ هتكار

= 0.383 متر مكعب / الثانية.

المخطط البياني المائي النظري لحوض الصرف B موضح في (٨/٦).



شكل (٨/٦) التخطيط النظرى لحوض الصرف B

ارتفاع الحوض (Elevation Of Basin)

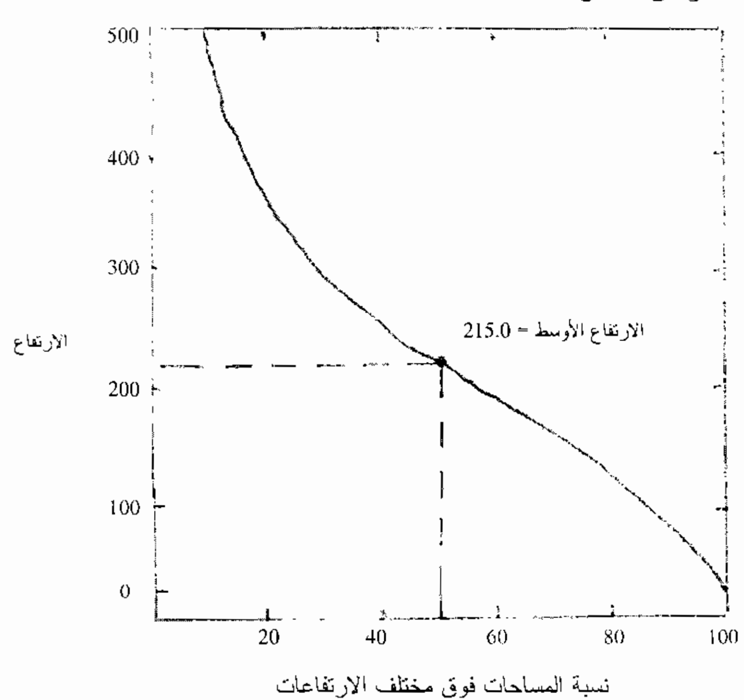
إن درجة الحرارة، فقد المياه، ونوع الترسيب يحكمهم كذلك التغير في الارتفاع ومتوسط ارتفاع حوض الصرف. متوسط ارتفاع الحوض يمكن تعيينه بقسمة الخريطة الطبوغرافية للحوض إلى أحجام ذات أبعاد متساوية للحصول على ما لا يقل عن ١٠٠ تقاطع. متوسط ارتفاع الحوض هو متوسط الارتفاع عند كل التقاطعات. الارتفاع الأوسط (Median) الذي يمكن تعريفه بأنه الارتفاع الذي يقع ٥٠% من مساحة الصرف فوقه والذي يمكن الحصول عليه بتوقيع منحنى قياس الارتفاع (Hypsometric Curve). منحنى قياس الارتفاع هو توقيع الارتفاع مقابل نسبة مساحات حوض الصرف فوق مختلف الارتفاعات. للحصول على بيانات للمنحنى، على الخريطة الكنتورية لمساحة الصرف، يتم تعيين المساحات التي تقع بين زوج متتالي من الكنتورات. كل من تلك المساحات مقسومًا على إجمالي المساحات لحوض الصرف ومضروبًا في ١٠٠، يتم عندئذ توقيعه مقابل الارتفاع المتوافق (يمكن أن يؤخذ كحد أدنى لمحدودية ارتفاع الكنتورات) انظر الشكل (٨/٧). الارتفاع المقابل إلى ٥٠% للمكان على المحور العرضي يعطي الارتفاع الأوسط (Median). الارتفاع الأوسط يعتبر ممثلاً أكثر من الارتفاع المتوسط. الارتفاع المتوسط في هذه الحالة يتم تقديره طبقًا للمعادلة التالية: $Em = \frac{\Sigma a.e}{A}$

حيث:

Em = تعني الارتفاع المتوسط للحوض.

a = المساحة بين أي زوج من الكنتورات.

A = مساحة حوض الصرف.



شكل (٨/٧) نموذج لمنحنى قياس الارتفاع

ميل حوض الصرف(Slope of Drainage Basin)

ميل حوض الصرف هو واحد من العوامل الهامة التي تحكم وقت التـدفق فـوق الأرضي وتركيز التدفق في قنوات المجرى. لذلك فإنه يؤثر على شكل المخطط البياني المائي وذروة التدفق. متوسط ميل الحوض يمكن الحصول عليه بالطريقة الآتية:

على الخريطة الطبوغرافية للحوض يتم رسم كنتورات ذات فواصل متساوية. ثـم رسم خطوط متوسطة بين تلك الكنتورات. يتم عمل الميل حيث:

$$S = D/W$$

حيث

D هي الفاصل الكنتوري

W هو العرض المتوسط للشريط.

العرض المتوسط يتم الحصول عليه بقسمة المساحة (a) للشرائط التي بين الخط المتوسط (Midway) على طول الكنتور (D)، بين الخطوط المتوسطة.

متوسط الميل (S) يتم عندئذ الحصول عليه بوزن الميول السابقة حسابها "S" بالنسبة للمساحة التي تمثلها أي

$$S = \frac{D}{W_1}\frac{a_1}{A} + \frac{D}{W_2}\frac{a_2}{A} + \frac{D}{W_3}\frac{a_3}{A} + ... + \frac{Dan}{WnA}$$

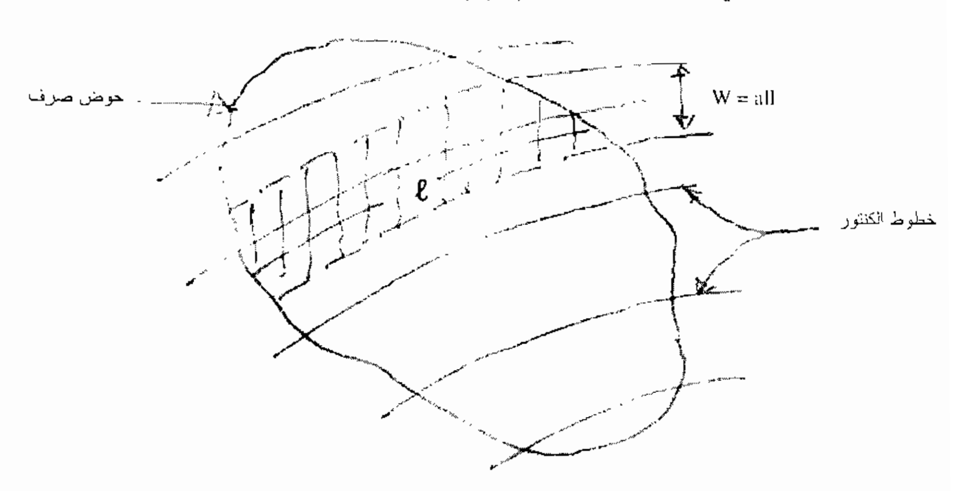
$$S = \frac{D}{A}(I_1 + I_2 + ... + I_n)$$

أو

$$S = \frac{D.L}{A}$$

حيث

I = الطول الكلي للكنتورات شكل (٨/٨) .



شكل (٨/٨) مخطط يبين العروض، الكنتور، شريط العروض

(e) توجيه الحوض:

الفقد بالبخر والنتح يتأثر مباشرة بكمية الحرارة التي تصل من الشمس. لذلك، فإن أي حوض موجه معظم الوقت ناحية أشعة الشمس، سوف يكون له زيادة في الفقد بالبخر والتأثير على متوسط التدفق للمجرى إلى حد ما في حالة أي ترسيب يكون في شكل سقوط المطر. ولكن إذا كانت المساحة معرضة إلى الثلج، عندئذ فإنه بسبب زيادة درجة حرارة الإذابة عند توجيه حوض الصرف ناحية الشمس، فإن فرص تدفق الذروة الذي يحدث يكون كبيرًا.

أدنى تدفق سيكون منخفضًا بسبب الفرصة القليلة للماء لكي يرشح ويصبح جزءاً من المياه الجوفية.

شبكة الصرف في الحوض (Drainage Net In the Basin)

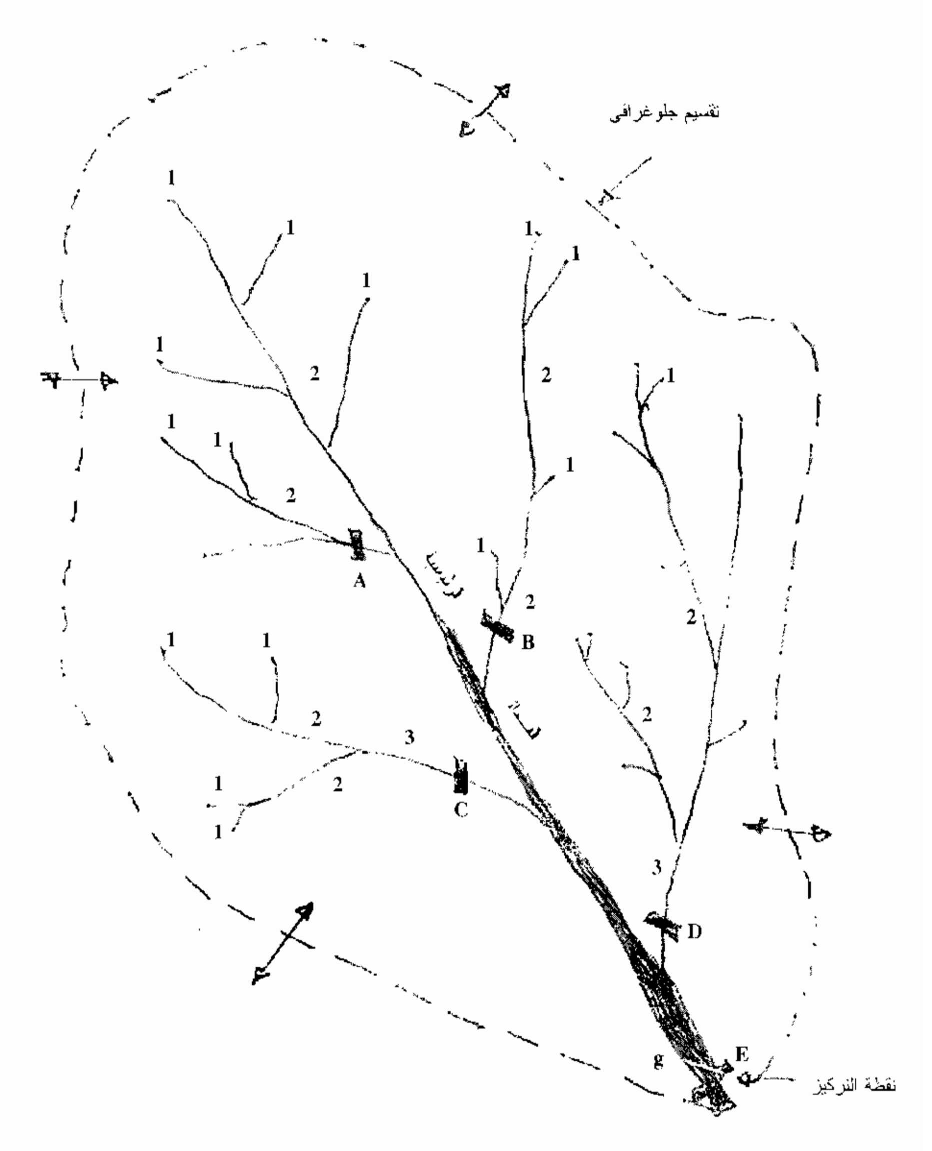
مع مرور الوقت يتكون نظام قنوات المجرى الطبيعي خلال حوض الصرف شكل (٩). إذا كانت شبكة تلك القناة قد تكونت بانتظام فوق المساحة عندئذ يكون التدفق فوق الأرض يتركز بسرعة عند المخرج بما ينتج عنه ذروة التدفق (Peak Flow). في هذه الحالة تكون فرصة الماء ضعيفة بالنسبة للرشح وبذا فإن أدنى تدفقات يحتمل أن تكون منخفضة.

يمكن الحكم على مدى تنمية نظام الصرف من نظام المجاري، كثافة المجرى، كثافة الصرف، طول التدفق فوق الأرض وطول الروافد.

قد يكون هناك عدد من القنوات الضخمة في حوض الصرف. تلك القنوات الرئيسية لها روافد رئيسية تغذيها، الروافد بالتالي قد يتم تغذيتها بواسطة روافد صغيرة وهكذا.

في اتجاه تدفق نحو المصب، نرى أن حجم القناة الرئيسية يأخذ في الزيادة شكل (٨/٩). كل الروافد بدون أفرع يتم تصنيفها لمجاري من النوع الأول أو الأنواع الدنيا (First order) بصرف النظر عن حقيقة سواء كانت هذه تدخل القناة الرئيسية أو القنوات الفرعية (الروافد).

المجاري التي تستقبل فقط روافد ليس لها أفرع تسمى المجاري من النوع الثاني. عند اتصال مجريين من النوع الثاني فإن المجرى الناتج يصنف كمجرى من النوع الثالث وهكذا. لذلك فإننا نرى أن نظام رقم المجرى الرئيسي الموضح في الشكل (٩)، يعطي بيان عن حجم وحدود شبكة الصرف.



شكل (٨/٩) تقسيم المجارى

كثافة المجرى (Stream Density)

كثافة المجرى تعرف بعدد المجاري المعمرة والمتقطعة (الدورية) لكل كيلو متر مربع. كثافة المجرى ليست مقياس لكفاءة الصرف.

كثافة الصرف: (Drainage Density)

كثافة الصرف تعرف بأنها طول المجاري المعمرة والمجاري المتقطعة (الدورية) على وحدة مساحة الصرف. وهي تختلف عكسيًا مع طول التدفق فوق الأرض. لذلك، فإن كثافة الصرف، توفر بعض البيانات عن كفاءة حوض الصرف.

في المساحات المستوية تكون التربة عمومًا ذات نفاذية مع وجود روافد في شكل مجاري معمرة. بينما في المناطق الجبلية حيث تكون الميول حادة يكون عدد الروافد الصغيرة كبير جدًا. من الطبيعي أن الطول الكلي للروافد في المنطقة الجبلية سوف يكون زائدا والذي لذلك يعطي بيان مباشر عن حدة الميل لحوض الصرف ودرجة الصرف.

نوع التربة واستخدامات الأرض:

نوع التربة عامل طبيعي جغرافي هام حيث يؤثر على طاقة الرشح للتربة وبذا يؤثر على حوض التدفق لأي حوض صرف. كلما زادت النفاذية للتربة قلت أحجام الذورة.

المساحة من الغابات التي لم تتعرى بفعل العوامل الطبيعية تكون طاقتها لاستيعاب كمية كبيرة من الماء في طبقة كثيفة من الأوراق والحشائش.. إلخ وبذا فإن فرص الفيضانات التي تحدث تقل كثيرًا. عند إزالة الغابات عندئذ فإن سقوط الأمطار على الأرض يتحرك بسرعة في شكل تدفق فوق الأرض إلى قنوات المجرى ويسبب تركيز سريع للتدفق وبذا يحدث الغمر أو الفيض.

٣- قياسات تدفق المجرى: (Stream Flow Measurement)

لمشروعات تنمية الموارد المائية من خلال التخطيط الجيد والإدارة الجيدة، فإنه يكون من الأساسي توفير بيانات تدفق دقيقة عن تدفق المجرى. التصرف في المجرى يعرف بأنه حجم المياه المتدفق خلال المقطع على وحدة الوقت ويقدر بالمتر المكعب في الثانية. قياس الصرف المتدفق في المجرى يكون لازمًا لأغراض وأهداف مختلفة، أهمها هو:

(١) تعيين الخريطة المائية أي تغير التصرف مع الوحدة أو تكامله البسيط أو المطور، منحنى الكتلة أو منحنى المتبقي للتصميم الجيد لمشروعات وادي النهر لمختلف الأغراض.

(٢) موضوع تحذيرات الفيضان والغمر.

(٣) التوزيع المتساوي لإمدادات المياه بين المستخدمين.

(٤) تقدير فقد المياه في المجاري.

(٥) تعيين التغيرات الموسمية والسنوية في التدفق.

الأهداف السابق ذكرها يتم تحقيقها بإنشاء علاقة بين القياس والتصرف (Gauge - Discharge) للمجرى عند مكان مختار. بمجرد عمل هذا، فإنه ليس من الضروري قياس التدفق في المجرى يوميًا. ولكن دليل القياس يلزم قياسه وقراءة التصرف المقابل من منحنى القياس. التصرف، يتم اختيار موقع المقياس بحرص بحيث يظل منحنى مقياس التصرف ثابتًا إلى حد ما لفترة زمنية معقولة. المكان المناسب لموقع المقياس، أجهزة قياس المنسوب وحساب التصرف إلخ سيتم مناقشتها في البنود التالية.

٤- مكان محطة القياس (Location of Gauging Station)

هناك العديد من المتطلبات التي يلزم توفيرها قبل اختيار الموقع كموقع للقياس (Gauge site). أهم تلك المتطلبات هي أن الموقع يجب أن يتم اختياره بحيث أن يكون تدفق المياه الجوفية خلال محطة القياس مهملاً. إذا كان المنسوب مستخدمًا للحصول

على تسجيل التصرف، أي التصرف فوق علامة على شكل حـــرف V (V-Notch) أو فوق جدار قمة عريض.. الخ.

فإن المكان يجب أن يتم اختياره بعناية. يجب أن يوضـــع عنـــد مقطـــع الـــتحكم (Control section). مقطع التحكم يتحكم في التدفق بحيـــث أن يعيـــق انتقـــال تـــأثير التغيرات في حالة التدفق إما في اتجاه المنبع أو في اتجاه المصب طبقًا لحالة التـــدفق (دون الحرج، الحرج، فائق الحرج) في القناة.

من المفضل تجنب مكان موقع القياس في وصول المياه المرتدة للسد (Back water Reach of a Dam) وأسفل ملتقى رافد هام.

حيثما أمكن يتم وضع مقطع قياس المنـــسوب علـــى امتـــداد اســـتقامة المجـــرى (Straight Reach of The stream) وكل التصرفات المقاســـة فـــي الجـــوار المباشـــر. محطات قياس المنسوب يجب أن يتم وضعها على جسور وقاع ثابت للمجرى. بخلاف ذلك يتم إنشاء التحكم الصناعي. يقال الكبـــاري (Piers of Bridges) حيـــث اســـتقامتها تكون عمودية على اتجاه التدفق يمكن استخدامها لتثبيت المقياس. مثل تلـــك المقـــاييس يكون من السهل الوصول إليها وإمكان تعيين التصرف حتى خلال الفيـــضانات. عنـــد موقع المقياس، يجب أن يكون مقطع المجرى محدد وأنه لا يتغير كثيرًا فـــي مختلـــف المواسم من العام.

٥– أجهزة القياس للمنسوب: (Instruments for Measuring Stage)

أجهزة القياس للمنسوب يمكن تصنيفها كالآتي:

١– مقياس الملاحظة البصرية (المقاييس اليدوية).

٢– اليدوية التي تعمل بالوزن أو الحساسات الكهربية (Electrical sensors).

٣– مقاييس المنسوب التي تعمل بالطفو.

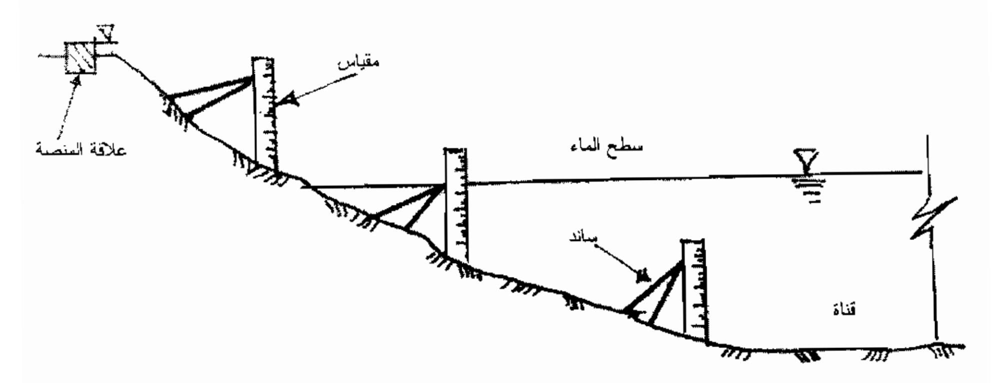
٤– حساسات العمق باستخدام مبدأ الضغط (مقياس الفقاعة).

٥– حساسات العمق باستخدام السعة أو مبدأ المقاومة.

من بين هذه الأنواع الأكثر استخدامًا من مقاييس المنسوب هي اليدوية وذات التسجيل الآلي من نوع الطفو ومقياس الفقاعة. وهذه سيتم مناقشتها كالآتي:

مقاييس الشاخص اليدوية: (Manual Staff Gauges)

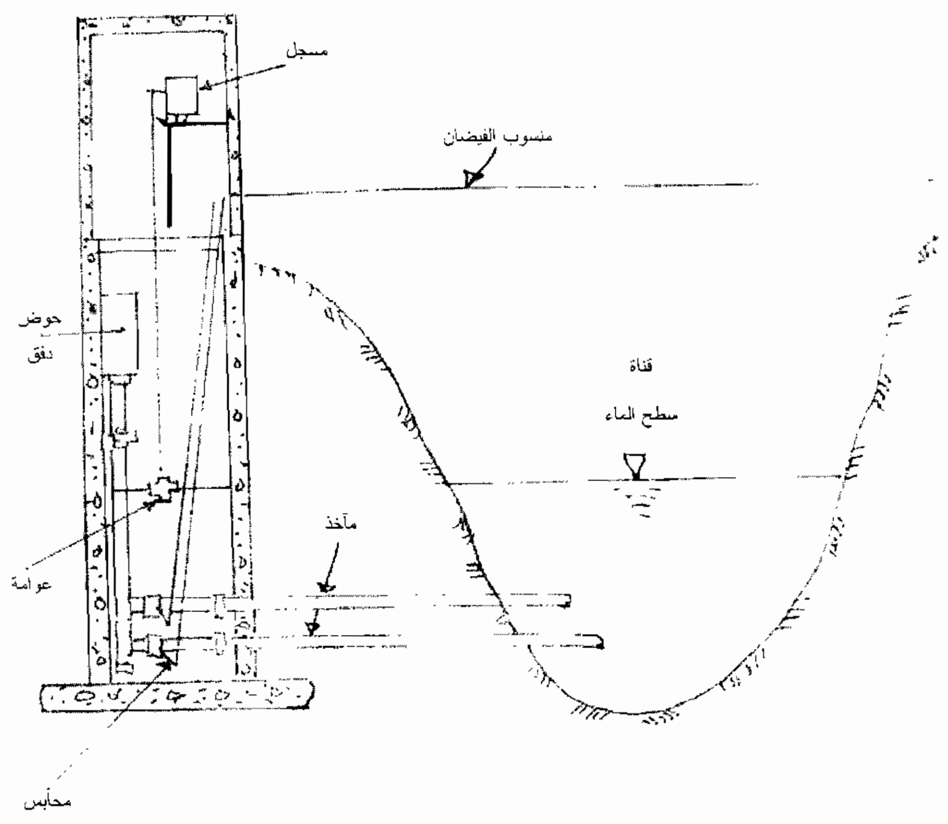
تشبه تمامًا تدريج القياس. الصفر عند هذه المقاييس يتم وضعه على أدنى نقطة للتدريج بحيث أن كل القراءات تكون موجبة. في حالة عدم إمكان شاخص واحد من تغطية كل مراحل المياه، فإن القياس يتم في عدة مقاطع أو عند أماكن مختلفة وارتفاعات مختلفة خلال المقطع شكل (٨/١٠). البديل يمكن وضع الساري المائل (Inclined staff) على ميل جسر المجرى وتدريجه بحيث أن التدريج يقرأ مباشرة العمق الرأسي. الملاحظة المنتظمة للمنسوب يجب أن تتم في أوقات محددة من اليوم. ولكن، عند تغير المنسوب بسرعة كما في حالة الفيضان. فإنه يتم أخذ قرارات القياس بمعدل عالي، أحيانًا خلال دقائق قليلة، بحيث يتم تسجيل أعلى منسوب وزمن حدوثه. أحيانًا عندما لا يكون من الممكن تسجيل الذروة بالطريقة السابقة وحدوث الذروة خلال الليل، عندئذ فإن علامات ذروة الفيضان يتم البحث عنها في الصباح. انحسار المياه المحتوية على رواسب دقيقة، علامات أوراق وقمة ارتفاع مثل هذه العلامات هو منسوب الفيضان.



شكل (٨/١٠) نموذج لمنشأ مقطع القياس

أجهزة القياس من نوع الطفو

توفر التسجيل الآلي المستمر لمناسيب المياه وهي مبنية على مبدأ الطفو. الطفو يتبع حركة سطح المياه ويوصلها بالمسجل بواسطة سلك بكره وثقل موازن (counter – weight). شكل (٨/١١) يبين مقطع في منشأ نموذجي لتسجيل منسوب المياه.

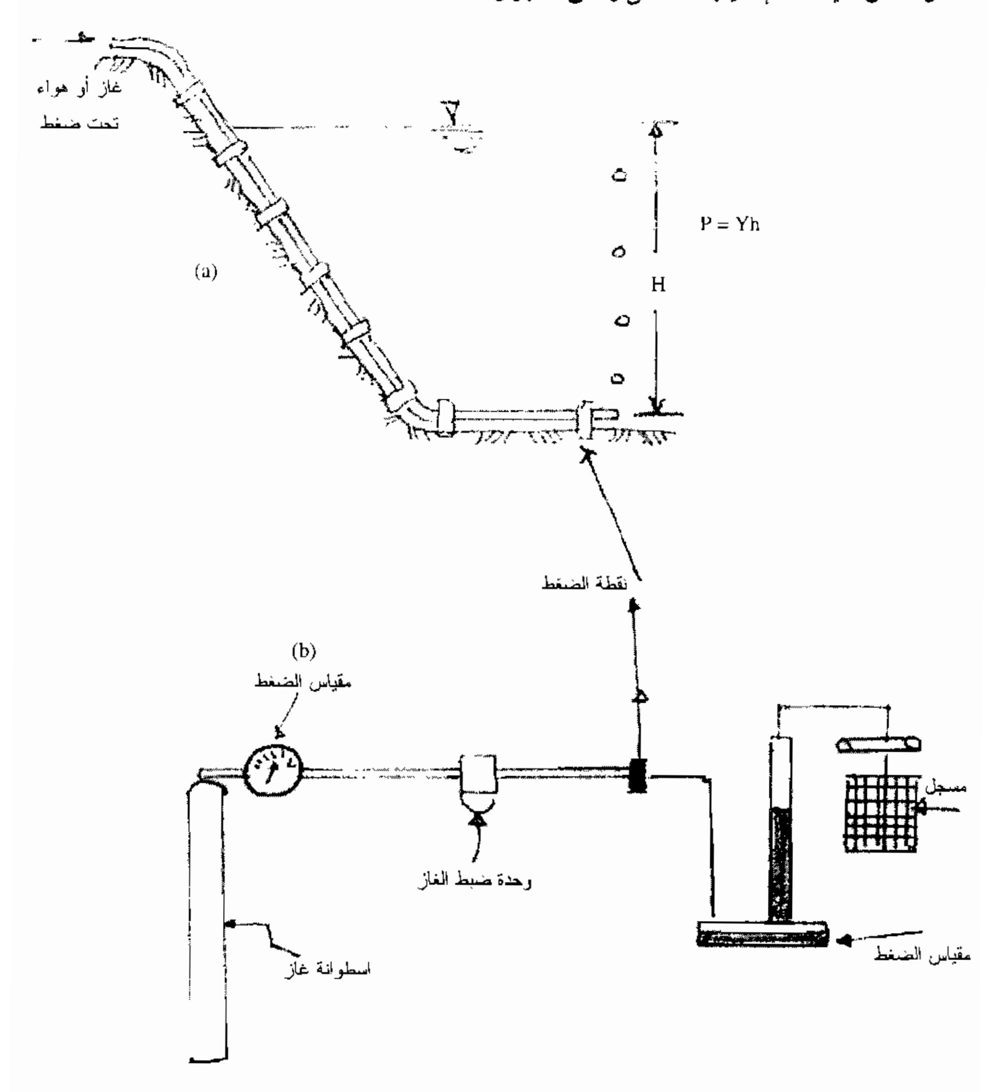


شكل (٨/١١) نموذج المنشأ بسجل منسوب الماء فى بئر المعايرة

في حالة محطات القياس المقامة على مجاري ضخمة، فإنه يتم إقامة مسجلات منسوب المياه من نوع الطفو في ملجأ حماية على الجسر مع وضع العوامة في بئر معايرة (Stilling well) – متصل بالمجرى بواسطة أنابيب. نظام دفق تلك الأنابيب هو جزء من التجهيز وذلك في حالة انسدادها. المسجل يتم وضعه فوق أعلى منسوب للمياه متوقع في المجرى. تسجيل المنسوب بنوع الطفو يمكن تصميمه بالطريقة التي تسمح بالتسجيل الرقمي وبدء تسهيل القياس الآلي عن بعد.

مقياس الفقاعة (Bubble Gauge)

مقياس الفقاعة هي مسجل آلي آخر للمنسوب ويعمل بمبدأ الضغط. يـتم نزيـف الغاز أو الهواء المضغوط إلى الخارج بمعدل صغير جدًا خلال فتحـة صـغيرة فـي الأنبوبة الموضوعة على قاع المجرى. يتم تغذية الغاز إلى نظام الأنابيب ويسمح لـه بإخراج الفقاعات بحرية في مياه النهر ذات الضغط خـلال نظـام يـساوي الـضغط الهيدروستاتيكي للماء عند فتحة الخروج (Escape Orifice). في حالة التثبيـت الجيـد للفتحة على نقطة محددة أسفل سطح الماء، فإن ضغط الغاز عندئـذ يـصبح متناسـب مباشرة مع منسوب النهر. بسبب الفرق في الضغوط الهيدروستاتيكية بسبب اخـتلاف المناسيب، فإنه يحدث تغير في ضغط الهواء في الأنبوبة. هذا التغير في الضغط يـتم قياسه بواسطة مقياس الضغط ويمكن تحويله إلى ضـغط مـاء ($P = Y_wH$). مخطـط التنظيم موضح في الشكل (٨/١٢). عداد الفقاعة يستخدم كثيرًا على نطاق واسع فـي كل العالم. وهو لا يتطلب إقامة بئر معايرة أو أي منشأ آخر في قاع المجرى كما فـي حالة مسجل المنسوب من نوع الطفو. ولكنه مثل المسجل من نوع الطفو، حيـث أنـه مناسب في التسجيل الرقمي وبذا تسهيل القياس عن بعد والاتـصال الآلـي بمـسافات بعيدة.



شكل (٨/١٢) نموذج لإنشاء وتوضيح مسجل مقياس الفقاعة

٦- قياس التصرف (Discharge Measurement)

يمكن قياس التصرف بأي من الطرق الآتية:

(١) استخدام منشآت التحكم الطبيعية أو الصناعية.

(٢) قياس إجمالي الأحجام.

(٣) طريقة الميل - المساحة.

(٤) طريقة السرعة – المساحة.

(٥) طرق التخفيف.

طرق أخرى مثل الكهرومغناطيسية، الصوتية.

أ – استخدام إنشاءات التحكم الطبيعية أو الصناعية:

في حالة وجود المنشآت الهيدروليكية المناسبة مثل الهدارات، النقرة أو الحز (Notches)، أو المسيل العريض المنحدر (مجرى مياه صناعي – Flume) إلخ. عندئذ فإن التصرف المار فوق أو خلال هذه يمكن حسابه من العلاقات النظرية. فمثلاً، في حالة هدار القمة العريضة (Broad crested weir) فإن التصرف D بالمتر المكعب في الثانية.

$$Q = CLH^{3/2}$$

حيث

L = طول القمة بالمتر.

H = طول عامود ضغط الماء بالمتر.

C = معامل التصرف (يتم الحصول عليه من الجداول القياسية)

المنشآت الهيدروليكية السابق ذكرها تكون أحيانًا مقامة خصيصًا ومستخدمة حيث يكون المطلوب درجة أعلى من الاعتمادية لقياس التصرف مثل توزيع الإمدادات بالمياه بين مدينتين. هذا التنظيم مجدي فقط في حالة المجاري المائية الصغيرة. ولكن، مفيضات السدود قد تستخدم أحيانًا كهدارات لقياس التصرف للمجاري الضخمة. بالنسبة للمجاري المائية الحاملة للغرين والأعشاب، تستخدم عدادات القياس بالتحكم لقياس التصرف. عداد القياس (Control Meter) هو منشأ مبني في المجرى المائي الذي يتم به الحصول على العمق الحرج برفع قاع المجرى، خفض العرض أو كليهما. التصرف يتم تحديده بالعلاقة المعروفة بين العمق الحرج وأدنى طاقة والتصرف – هذه الطريقة لحساب التصرف يمكن تسميتها الطريقة غير المباشرة لقياس التدفق. مثل عدادات القياس التى يتم إقامتها حيث لا يوجد هناك تحكم طبيعي كما في حالة المجاري المائية المتقطعة.

ب- قياس الأحكام الكلية (Measurement of Total Volumes)

التصرف خلال المسيل أو مجرى الماء الصناعي المعملي (Flume) يتم تعيينه بطريقة القياس الحجمي المباشر. الحجم الإجمالي مقسومًا على الوقت يعطي معدل التدفق. هذه الطريقة يمكن استخدامها لقياس التصرف من مستجمع المياه إذا كان المجرى الحامل لمياه مستجمع المياه يصرف في خزان معلوم الحجم. مسجل المنسوب يوفر التسجيل للمنسوب ومنحنى الطاقة – المساحة (Area – Capacity Curve) يمكن استخدامه لتوفير قيم حجم التخزين.

جـ- طريقة الميل – المساحة (Slope – Area Method)

هذه الطريقة تتضمن حساب متوسط السرعة باستخدام معادلة المقاومة المعروفة (Chezor Manning) ثم ضربها في متوسط المساحة للمقطع للحصول على التصرف.

استخدام معادلة ما ينتج تحتاج إلى معرفة معامل الخشونة للقناة، ميل خط الطاقة ونصف القطر الهيدروليكي أو عمق التدفق إذا كان المجرى ذو مقطع مستطيل متسع. في القناة حيث التصرف يتغير سريعًا، فإن ميل خط الطاقة المساوي لميل سطح الماء قد يسبب أخطاء. في مثل هذه الحالات فإن قيمة فرضية للطاقة الحركية $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ يتم إضافتها إلى ارتفاع مسطح الماء عند كل نهاية للسان الماء (Reach)، الفرق بين تلك القيم مقسومًا على طول لسان الماء يعطي متوسط الميل لخط التدرج في الطاقة (Energy Gradient line).

يمكن تخمين معامل الخشونة لما ينتج من الجداول المتاحة في المراجع.

لتعيين (n) لحساب ذروة التصرف، يمكن استخدام الطريقة الآتية:

عند مختلف مناسيب النهر يتم تعيين قيم معامل الخشونة لما نتج بحرص بملاحظة أو حساب قيم ميل الطاقة الهيدروليكية، ونصف القطر الهيدروليكي والميل. تلك القيم لـ (n) يتم عندئذ توقيعها مقابل ارتفاع سطح الماء. امتداد هذا المنحنى إلى الارتفاع خلال الفيضان سوف يعطي قيمة (n) لما نتج التي ستكون دقيقة إلى حد مقبول.

ميل الماء سوف يتم قياسه والموقع المختار يجب أن يسمح بمثل هذا القياس على كلا جانبي القناة بدون أي مشكلة. متوسط المقطع يجب كذلك أن يتم تحديده.

طريقة الميل – المساحة (Slope – Area)

هي طريقة جيدة في حساب تصرفات ذروة الفيضان من العلامات المتروكة من وقت الفيضان. هنا، أولاً وقبل كل شيئ يتم اختيار مسار مستقيم للنهر له قناة متجانسة وعلامات واضحة يسهل معرفتها. مساحات المقطع عند موقع تلك العلامات يتم استطلاعها بعد انحسار الفيضان. يتم عندئذ تعيين متوسط نصف القطر الهيدروليكي. من العلامات المتروكة عند مختلف الأماكن في الاتجاه الطولي يتم تعيين متوسط ميل سطح الماء تخطيطيًا (بيانيًا) بمرور خط متوسط خلال تلك النقطة بواسطة المعاينة.

طريقة الميل – المساحة – المبسطة (Simplified slope – Area Method)

في طريقة الميل – المساحة السابق تناولها، اختيار القيمة المناسبة لمعامل الخشونة (n) يتغير من شخص إلى آخر. ولكن العالم (Riggs) قد اقترح طريقة مبسطة التي تتجنب الذاتية في اختيار (n). طبقًا لمقترحه توجد علاقة بين خشونة القناة وميل سطح الماء في القنوات الطبيعية والتصرف يمكن حسابه بدون استخدام معامل الخشونة والميل. نظرًا لأن المساحة مرتبطة بنصف القطر الهيدروليكي (R)، وافتراض أن الميل سوف يستبدل (n)، فإن معادلة ما ننتج يمكن كتابتها كالآتي:

$$Q = C_1 A^{C.} S^{C.}$$

حيث:

S = سيل سطح الماء

على أساس البيانات الحقلية فقد اقترح (Riggs) العلاقة الآتية:

$$\text{Log } Q = 0.191 + 1.33 \text{ Log } A + 0.05 \text{ Logs} - 0.056 (\text{Logs})^2$$

حيث:

Q = بالمتر المكعب في الثانية، A بالمتر المربع.

هذه الطريقة تعطي نتائج قريبة من دقة طريقة الميل – المساحة لكل المجاري المائية الطبيعية تقريبًا وبدون تدفق كبير عبر الجسور وبدون اختناقات تدفقات المياه المرتدة.

د- *طريقة السرعة – المساحة (Velocity – Area Method)*

في هذه الطريقة يتم تعيين التصرف للمجرى بقياس متوسط مساحة المقطع والسرعة. السرعة يتم قياسها بواسطة أنبوب بيتوت (Pitot tube) مقياس سرعة التيار (Current Meter)، العوامل أو أي جهاز آخر لقياس السرعة. ثبت أن أنبوب بيتوت يعطي نتائج جيدة في الأنابيب وفي القنوات التجريبية، ولكن وجد أنه غير مناسب للأنهار الطبيعية. في طريقة العوامة يتم تعليم مسافة موازية إلى خط الوسط للمجرى على طول أحد الجسور. يمكن استخدام عوامات خاصة (في الواقع أي مادة طافية) لقياس السرعة. السرعة تساوي المسافة مقسومة على الزمن الذي تستغرقه العوامة لعبور هذه المسافة، السرعة المتوسطة في العمودى تساوي مجموع هذه السرعة والمعامل الذي يتم تعيينه تجريبيًا. طريقة العوامة يتم اللجوء إليها عندما لا يكون في الإمكان قياس السرعة بواسطة مقياس سرعة التيار (Current Meter) عندما يكون النهر في الفيضان.

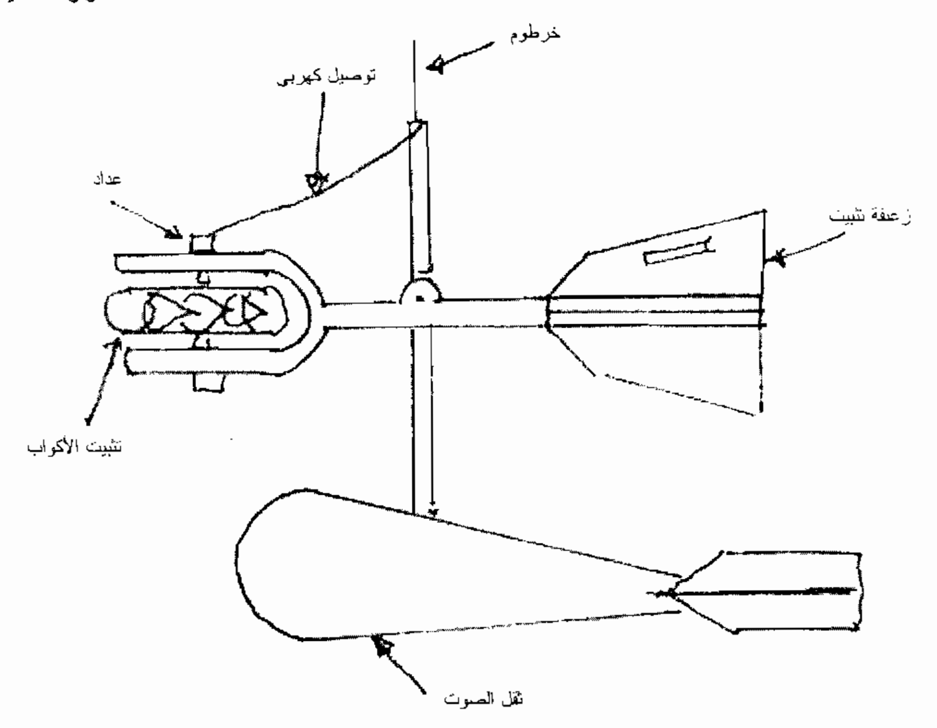
قياس السرعة بمقياس سرعة التيار يعطي السرعة في المكان حيث يتم وضع عداد قياس التيار في المجرى. السرعة المتوسطة يتم تعيينها باستخدام نقطة السرعات هذه.

<u>مقياس سرعة التيار: (Current Meter)</u>

مقياس سرعة التيار هو الجهاز الأكثر استخداماً لقياس السرعة.

يوجد نوعين من أجهزة قياس سرعة التيار – وهما القياسات بالمحور العمودي والقياسات بالمحور الأفقي.

المكونات المختلفة لمقياس سرعة التيار بالمحور العمودي موضح في الشكل (٨/١٣).



شكل (٨/١٣) مخطط المحور الرأسى لعداد التيار

في نوع المحور العمودي، تدور الأكواب (Cups) المركبة على المحور العمودي في مستوى أفقي بفعل القوة الناتجة عن تيار الماء. آلية العد تقوم بعد عدد الدورانات للكوب وسرعة دوران الأكواب، طبيعي أن تعتمد على قوة التيار. المجال الطبيعي للسرعات المقاسة بواسطة مقياس سرعة التيار بالمحور العمودي هو من ٠,١٥ – ٠,٤ متر في الثانية. معايرة مقياس سرعة التيار تتم بتثبيته على قضيب أو كابل والسحب خلال ماء ساكن بعربة كهربية في حوض طويل عند سرعة ثانية.

يتم عمل علاقة سرعة الدوران من النوع الآتي:

$$V = a + bn$$

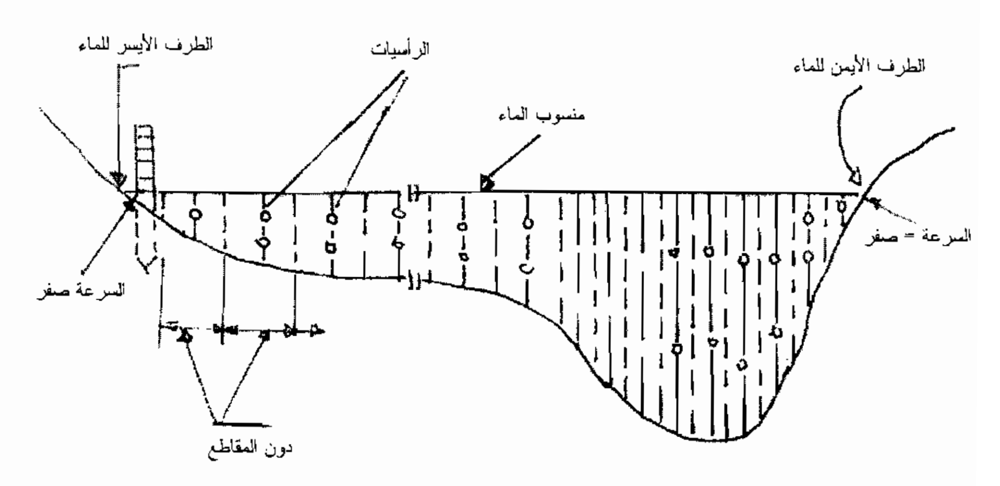
حيث:

n = دوران الدافع

V = سرعة التيار عند نقطة

b , a = معاملات يتم توفيرها بواسطة المنتج لجهاز مقياس سرعة التيار.

يتم قياس السرعة عند المكان الموضح بالرنـــات صـــفر (zero sounding) علـــى الرأسيات (Verticals) شكل (٨/١٤). في حالة المجاري المائية العميقة جدًا يتم عمـــل عدد أكبر من رنات السرعة (Velocity sounding) على الطول الرأسي.



شكل (٨/١٤) مخطط لتنظيم الرأسيات فى طريقة السرعة – المساحة

حساب متوسط السرعة: (Computation of The Mean Velocity)

التدفق في القناة المكشوفة هو تدفق مضطرب ودائم باستمرار. التوزيع النظـــري للسرعة للتدفق المضطرب تتطابق مع توزيعات السرعة الملاحظة. ولكن ليس كما في حالة التدفق الرقائقي (Laminar) فإنه ليس من الممكن الحصول على معادلة صـــحيحة لتوزيع السرعة في التدفق المضطرب، والتي قد تتغير كذلك من نقطة إلى أخرى فـــي القناة.

ولقد تم تطوير طرق بسيطة:

من دراسة البيانات الحقلية على توزيع السرعة تم عمل الملاحظات الآتية:

(١) السرعة عند مستوى (0.61) أسفل السطح هي تقريب جيد لمتوسط الـــسرعة في الرأسي.

(٢) السرعة المتوسطة التي تم تعيينها باستخدام متوسط السرعات المأخوذة عند (0.2d)، (0.8d) أسفل السطح هو تقريب جيد لمتوسط السرعة في الرأسي.

(٣) النسبة ما بين أقصى سرعة إلى السرعة المتوسطة هي تقريبًا (1.2).

القواعد السابقة تسمح بتعيين التصرف بعدد قليل نسبيًا من قياسات السرعة.

عندما يكون المطلوب دقة أكبر في مقياس التصرف، فإن السرعة المتوسطة يمكن حسابها كالآتي:

يتم توقيع منحنى توزيع السرعة الرأسية وحساب المساحة خلال المنحنى. هذه المساحة مقسومة على العمق الكلي للتدفق سوف تنتج السرعة المتوسطة للتدفق والتي عند ضربها في مساحة التدفق سوف تعطي التصرف.

هذا الجهد قد يكون مطلوبًا عند الحاجة إلى دقة أكبر. أي توزيع الإمدادات بين مدينتين.

تعيين مساحة التدفق: (Determination of The Flow Area)

في حالة المجاري المائية التي في حالة اتزان (لا تحدث ترسيب ولا نحت) فإنه يتم تعيين المقطع في وقت المنسوب المنخفض للمياه بمساعدة مسواه أفقية الحركة فقط (تلسكوبية) Dumpy Level وقضيب ارتفاعات قاع النهر يتم تعيينها عند فواصل مناسبة ضرورية لتعريف كنتورها. مثل هذا المقطع يتم عندئذ أخذه كمقطع قياسي لكل عمل مستقبلي. ولكن، إذا كان المجرى ليس ثابتًا تقريبًا عندئذ يتم تعيين الأعماق بالصوت (Sounding) عند كل مكان مقياس، في كل وقت يتم القياس.

قياس العمق يتم بواسطة التخويض (wading) أو قضبان تعليق (Suspension Rods)، وذلك عندما تكون السرعات في المجرى أقل، من ١,٢ مترًا في الثانية وأن تكون الأعماق حتى واحد متر وأن يكون المجرى قابلاً للتخويض فيه (Wadable). بالنسبة للأعماق التي تزيد عن واحد متر وحتى ٦ متر والسرعات في المجرى حوالي ١,٧ متر في الثانية، فإنه تستخدم القضبان الصوتية (Sounding Rods) لقياس عمق

الماء. يستخدم الناقل الكبلي أو المصعد الكبلـــي (التليفريـــك) (Cable – Way)، وثقـــل الصوت (Sounding Weight) لقياس عمق الماء الذي يزيد عن ٦ متـــر شـــريطة أن يكون التيار بطيئًا للقياس الدقيق والسريع يتم تسجيل أعمال الماء في المجرى بمساعدة جهاز صدى الصوت (Echo Sounder).

يتم تقسيم عرض المجرى إلى قطاعات فرعية شكل (١٤) طبقًا لتغير العمق عبر المجرى. في حالة أهمية الحصول على درجة عالية من الدقـــة فـــإن عـــدد المقـــاطع الفرعية قد يزداد لا يزيد عن ١٠% من إجمالي الصرف يتم تدفقـــه خـــلال المقطـــع الفرعى وإلا يتم تعديل المقاطع الفرعية.

يتم حساب التصرف في كل مقطع فرعي ثم الجمع لكل المقطع.

الطريقة السابق ذكرها لحساب التصرف تفترض وجود تدفق ثابت في المجـــرى. في حالة التغير السريع للتصرف، كما في حالة الفيضانات فإنه يتم تبني طريقة الطفـــو أو طريق الميل – المساحة.

هـــ – *طرق التخفيف لقياسات تدفق المجرى:*

Dilution Methods of stream Flow Measurements

طرق التخفيف استخدمت حيث لا يمكن معرفة البعد الطـــولي للقنـــاة ومكونـــات السرعة المحلية. يتم حقن مؤشر مذاب (Soluable Indicators) بكميـــة معلومـــة فـــي المجرى عند مقطع معين. ثم يتم قياس التركيزات عند نقطة مختلفة تحت المـــاء. لقـــد ثبت مسبقًا أن التركيزات التي تم الحصول عليها عند أماكن مختلفة ســـتكون متناســـبة عكسيًا مع معدل التدفق. طرق التخفيف مثل طريقة السرعة – المساحة نتج عنها عدد قليل جدًا من النقط على منحنى قياس التصرف.

أساسًا توجد طريقتين لقياس التخفيف – طريقة الحقن المفاجئ وطريقـــة المعـــدل الثابت للحقن. وسيتم شرح كليهما:

(١) طريقة الحقن المفاجئ (Sudden Injection Method)

في هذه الطريقة يتم إضافة كمية من المقتفي (Tracer) بـــالحجم (V_1) والتركيـــز (C_1) إلى النهر بالتفريغ المفاجئ لقنينة محلول التتبع أو الاقتفاء. عنـــد محطـــة أخـــذ العينات تحت التيار يتم رصد كل سحابة المتتبع لإيجاد العلاقة بين التركيز والوقـــت. كمية المتتبع أو كتلة المتتبع (M) عندئذ ستكون مساوية بقيمة ($C_1 V_1$). إذا كان (t_1) هو الوقت قبل وصول الطرف الدليل لسحابة المتقفى (المتتبع) عند محطة أخـــذ العينـــات و(t_2) هو الوقت بعد مرور كل المقتفي لهذه المحطة عندئذ فإن كمية المقتفـــي تكـــون كذلك مساوية للآتي:

$$Q\int_{t_1}^{t_2} (C_2 - C_0).dt$$

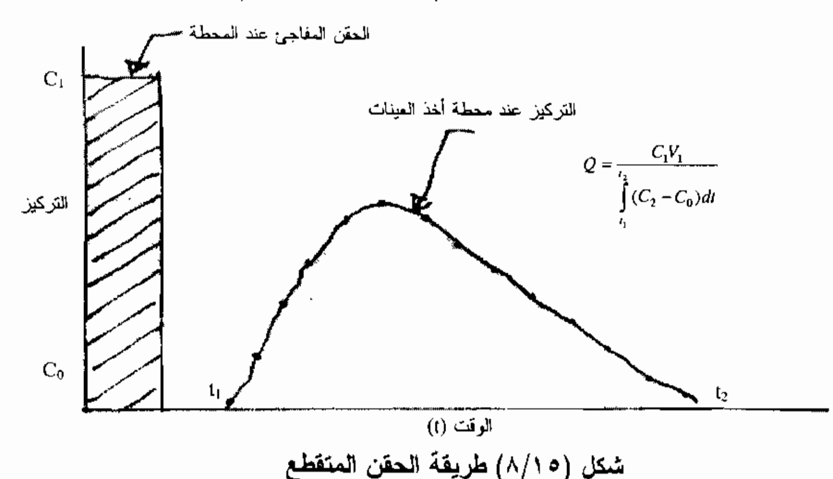
حيث:

C_2 = تركيز الاتزان للماء.

C_0 = قيمة تركيز الأساس، شكل (١٥). لذلك

$$C_1 V_1 = Q\int_{t_1}^{t_2} (C_2 - C_0)dt$$

$$Q = \frac{C_1 V_1}{\int_{t_1}^{t_2}(C_2 - C_0)dt} = \frac{M}{\int_{t_1}^{t_2}(C_2 - C_0)dt}$$



شكل (١٥/٨) طريقة الحقن المتقطع

طريقة الحقن المستمر وبالمعدل الثابت:

Continuous and constant Rate Injection Method:

يتم حقن محلول المقتفى ذو التركيز المعلوم (C_1) باستمرار بالمعدل (g) عند محطة أخذ العينات الموجودة تحت التيار لنقطة الحقن شكل (٨/١٦). معدل الكتلة الذي عنده يدخل المقتفي إلى مدى مسافة الاختبار يساوي ($qC_1 + Q.Ce$).

حيث

Q = تصرف النهر.

C_e = التركيز المرافق للمقتفي في مياه النهر.

المعدل الذي عنده يترك المقتفى مدى مسافة الاختبار هو [$(Q + g)C_2$]

حيث C_2 = التركيز عند نقطة القياس.

بفرض حدوث الخلط الطافي للمقتفي مع كل التدفق عبر المقطع، فإنه يمكن كتابته

$$gC_1 + QC_0 = (Q + q)\ C_2$$

أو

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0} g$$

الحقن بالمعدل الثابت يمكن اعتباره سلسلة من الحقن المفاجئ كما هو موضح في الشكل (١٦). أدنى فترة زمنية للحصول على حالات الاستقرار ستكون (T)، ولكن، استمرار فترة الحقن يجب أن تكون على الأقل مساويان لـ ($T + Tp$).

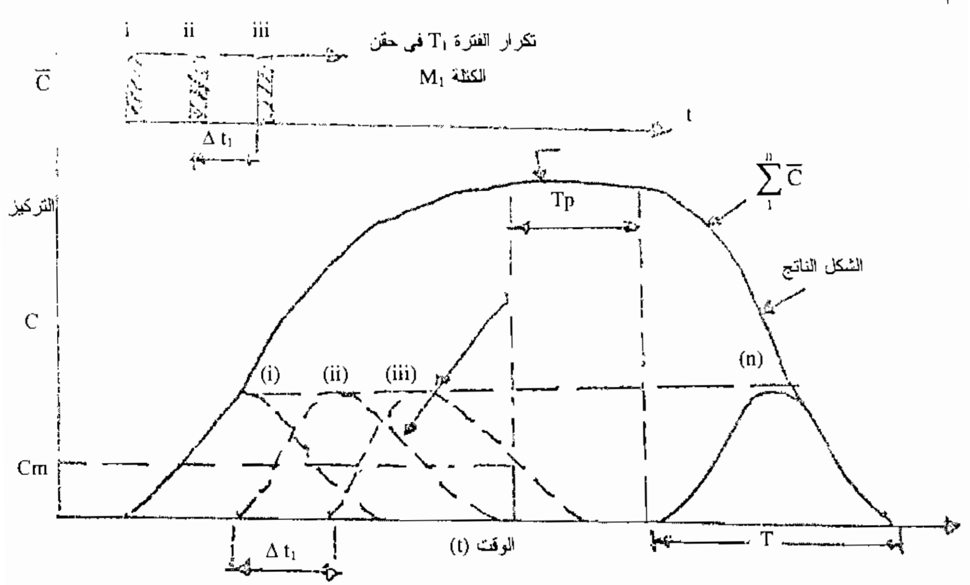
هنا Tp تكون هي فترة الاستقرار.

إذا كانت ($\acute{C}$) هي متوسط التركيز عبر المقطع والتصرف في المجرى، هو (Q)، عندئذ فإن كمية المقتفي (M) تساوي كذلك الآتي:

$$M = Q\int_0^\infty \overline{C}dt$$

المسافة تحت التيار لنقطة أخذ العينات، (L) يجب أن تكــون بعيــدة بمــا يكفــي للحصول على الخلط الكامل عبر المجرى.

في كلا الطريقتين السابق ذكرهما يفترض أنه لا يوجد فقد من مادة المؤشر الــذي تم حقنه.



شكل (٨/١٦) معدل الحقن المستمر والمستقر

الطرق الكيماوية أو طرق الحقن تم أولاً استخدامها للقياس أمــا فــي المــسارات المقفلة (الأنابيب) أو القنوات الصناعية ذات الــشكل الهندســي المحــدد والخــواص الهيدروليكية المحددة – عند استخدام تلك الطرق بحــرص، فإنهــا يمكــن أن تقــيس التصرفات بدقة حتى ± ٥% في المجاري المائية العادية. تلك الطرق مكلفــة بــسبب طول فترة الاختبار إذا كان الغرض هو الحصول على نتائج اعتمادية. تلــك الطــرق تستخدم عادة في عمليات المعايرة. المحلول المستخدم عادة والأكثر استقرار هو الملح العادي، وملح داي كروميت الصوديوم والمستخدم عادة من المقتفيــات المــشعة هــو الذهب ١٩٨، والصوديوم ٢٤.

و – طرق أخرى (Other Methods)

طرق الحث المغناطيسي وفوق السمعية (الصوتية):

Maguetic Induction and ultrasonic Methods:

يوجد اثنين من الطرق التجريبية الواحدة لقياس السرعة وبالتالي التصرف في القنوات المكشوفة، وهما طريقة الحث المغناطيسي والطريقة فوق السمعية كلا الطريقتين تم استخدامهما في القنوات المغلقة ولكن استخدامهما في القنوات المكشوفة لم يتم اعتباره كطريقة قياسية متقنة.

الطريقة الأولى مبنية على قياس تيار الحث (Induction current) الذي يتم توليده عند تحرك موصل كهربي عبر مجال مغناطيسي. (الموصل في هذه الحالة هو الماء المتدفق). التيار يكون له علاقة طولية مع سرعة الموصل. إذا كان مقطع المجرى معلومًا عند موقع القياس، فإن سجل التيار يمكن أن يعاير للحصول على التصرفات مباشرة.

في الطريقة الثانية يتم إرسال سلسلة من النبضات فوق الصوتية من أحد أجناب المجرى إلى الآخر، أولاً ضد التيار ثم على طول التيار. بسبب تأثير متوسط السرعة على وقت الرحلة للإشارة، فإنه سوف يوجد إما فرق الوقت أو حيود التردد. قياس حيود التردد أو فرق الوقت (Frequencey Shift or Time Difference) سوف يبين السرعة في المجرى.

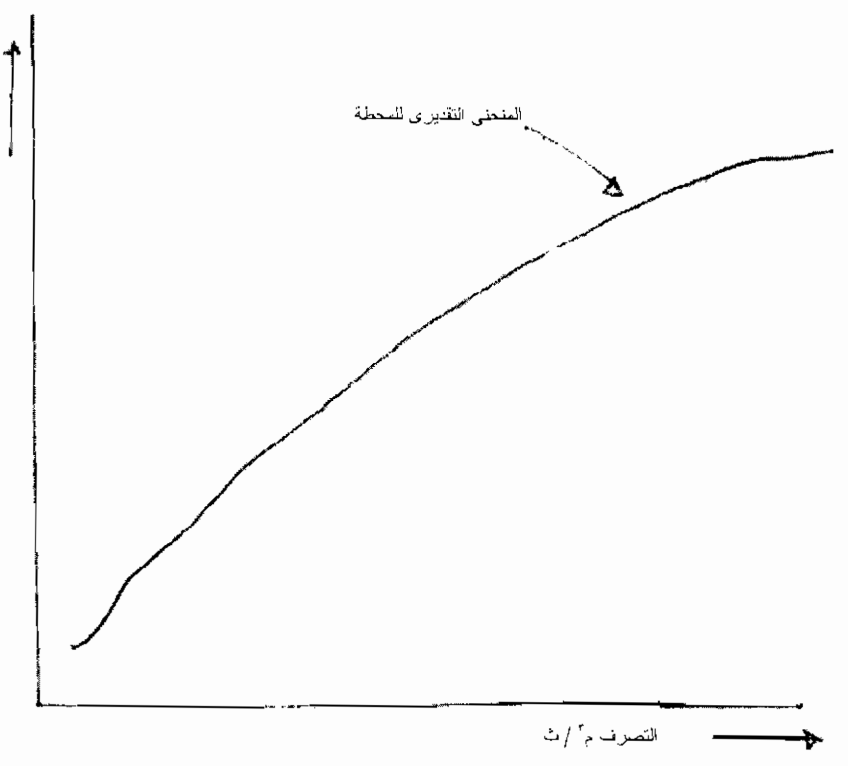
منحنيات قياس التصرف (Gague Discharge Curves)

تصرف المجرى يتم حسابه عمومًا عند مستويات مختلفة للمياه في المجرى المائي. مستويات الماء هذه تسمى ارتفاعات القياس (Gauge Heights) والتصرفات المقابلة تكون لذلك، مسجلة ويتم توقيعها للحصول على المنحنى الذي يعرف بمنحنى التصرف أو المنحنى التقديرى للمحطة (Station Rating Curve) الذي يمثل المنسوب بالنسبة للتصرف شكل (٨/١٧). عند رسم هذا المنحنى يكون من السهل إيجاد

التصرف في المجرى ببساطة بقراءة مقياس نهر (أو المنسوب) وإيجاد التصرف المقابل من منحنى التصرف – المنسوب المقابل.

مثل هذا المنحنى يحطم العلاقة بين منسوب النهر عند وقت معين (أي ارتفاع القياس) والتصرف المقابل، وبذا يعرف بمنحنى المنسوب – التصرف.

العلاقة المقدرة بهذا المنحنى تعرف بعلاقة المنسوب _ التصرف عند موقع معين للسرعة المساحة.



شكل (٨/١٧) نموذج لمنحنى المنسوب التصرف

محطة السرعة المساحة (Velocity Area Station)

محطة السرعة المساحة تحتوي أساسًا على (١) تحكم (٢) مقياس (٣) مقطع قياس.

(١) التحكم (Control): هو ذلك المقطع المعين للنهر الذي يساعد في تعيين العلاقة بين منسوب النهر في أي وقت وتصرف النهر في ذلك الوقت. التحكم يمكن أن يكون طبيعي أو صناعي. قد يكون مستمرًا أو مرحلياً.

بسبب وجود التحكم عبر النهر، فإن المياه على الجانب فوق التيار تتأثر. المساحة التي يصل إليها تأثر التدفق بسبب وجود التحكم يمكن أن تسمى بطول تأثير التحكم (Length of Influence of the Control). التموجات الطبيعية (Natural Undulations) في قاع النهر قد تؤثر على سطح المياه، وبذا يمكن أن تعمل كتحكم (Controls). طبقًا لمنسوب النهر (منخفض أو عالي) فإن تموجات معينة.

قياس تدفق المجرى ومنحنيات قياس التصرف:

Stream Flow Measurement And Gauge Dischange curves:

١ - مقدمة:

تتدفق المجرى كما هو معروف أنه التصرف المتدفق في قناة المجرى عند وقت معين، وعند مقطع عين (أي مكان) لذلك فإنه يشمل التدفق السطحي وكذلك التدفق للمياه الجوفية التي تسربت في المجرى.

العملية التي يتم بها قياس التصرف في قناة المجرى تعرف بالقياس للمجرى (Stream Gauging) لذلك فإن كلمة القياس للمجرى تعنى قياس المجرى أى تعيين خصائص التدفق للمجرى وتشمل تعيين تصرف النهر خلال فترات زمنية طويلة، وتعيين سرعة التدفق في حالة الحاجة إليها.

<u>الإنشاءات المستخدمة لقياس التصرفات في القنوات المكشوفة:</u>

<u>The Installation used to measure Discharges In open channels:</u>

توجد أنواع عديدة من الإنشاءات الهيدروليكية المستخدمة في قياس التدفق في القنوات المكشوفة مثل النقرة أو الحز أو الفتحات (Notches)، الهدارات (Weirs) ومسيلات المياه (Flumes) والنقط (Drops) هذا بجانب طريقة السرعة – المساحة، طريقة محطة الطاقة، طريقة التخفيف، طريقة الميل – المساحة – وطرق أخرى.

٢- النقر أو الفتحات لقياس التصرف:

النقر أو الفتحات هي عبارة عن قطع من أنواع معدنية رقيقة وقد تكون في شكل المثلث أو في شكل شبه المنحرف. وهي تستخدم كثيرًا في قياس التصرفات في المعامل، وفي حالة التدفقات الصغيرة جدًا في الموقع.

أ- الفتحات المثلثية على شكل حرف V. (V Notches).

تستخدم الفتحات المثلثية ٩٠° لقياس الكميات الصغيرة للتدفقات في القنوات المفتوحة حتى ١,٢٥ متر مكعب في الثانية.

قناة الاقتراب لتثبيت هذا المنشأ يجب أن تكون إلى حد ما ملساء، وخالية من الاضطرابات، ومستقيمة في طول يساوي ما لا يقل عن عشرة أضعاف العرض. المنشأ الذي سيتم عليه تثبيت الفتحة المثلثية، يجب أن يكون قويًا ومحكم ضد تسرب المياه، مع سطحه فوق التيار يكون عموديًا. المستوى تحت التيار يكون دائمًا لا يقل عن ١٥سم أسفل قاع قمة الطرف المدبب بما يضمن حرية التدفق.

الضغط المسبب للتدفق في الفتحة حرف V يتم قياسه بواسطة مقياس الغطاء (Standard Hood Gauge)، فوق التيار على مسافة ٣-٤ أضعاف أقصى عمق للتدفق فوق الفتحة حرف V.

التصرف (Q) للفتحة (V) يتم عندئذ قياسه بالمعادلة الآتية:

$$Q = \frac{8}{15} Cd . \sqrt{2g} . \tan \frac{Q}{2} . H^{5/2} \quad (1)$$

حيث:

H = الارتفاع فوق الفتحة الساكن

Q = زاوية الفتحة عند المركز.

g = عجلة الجاذبية = ٩,٨١ متر/ثانية^2

Cd= معامل التصرف المؤثر والذي تتراوح قيمه من ٠,٦ إلى ٠,٦٩ لقيم الضغط الرأسي (Head) التي تتغير من ٠,٠٥ إلى ٤ متر.

تستخدم الفتحات المثلثية فقط عندما يزيد الارتفـاع (Head) عـن ٠,٠٦ متـر (أي ٦سم). الطريقة توفر مقادير دقيقة إلى حد ما للتصرف، وقيم التـصرف التـي تـم الحصول عليها قد تتراوح، ما بين ٩٧% إلى ١٠٣% من قيم التـصرف الحقيقيـة للتصرفات من ٠,٠٠٨ إلى ١,٢٥ متر مكعب في الثانية.

في حالة الفتحة V بزاوية ٩٠° م، Q = ٩٠° م فإن المعادلة رقم (١) تكون

$$Q = \frac{8}{15} Cd. \sqrt{2g}. \tan 45^0. H^{5/2}$$

$$Q = 2.36\ Cd.\ H^{5/2}\ (\text{For } 90^o\ V - \text{Notch})$$

ب- الفتحات في شكل المستطيل (Rectangular Notches)

الفتحات المستطيلة ذات عرض لا يقل عن ١٥ سم قد تنشأ أحيانًا بدلاً من الفتحات حرف V مثل هذه الفتحات المستطيلة ذات الانكماشات الطرفية تحكمهـا المعادلـة الآتية:

$$(2) \qquad Q = \frac{2}{3} Cd. \sqrt{2g}. be. H_e^{3/2}$$

(بانكماشات طرفية)

حيث:

be = العرض المؤثر أو طول الفتحة، مقابل عرضها الحقيقي (b)، حيـث (bc) K + b =

حيث

K = تتغير ما بين ٢,٥ ملليمتر إلى ٣ ملليمتر، ٤ ملليمتر لقيم $\frac{b}{8}$ حتى ٠,٤٠، من ٠,٤ إلى ٠,٦، ومن ٠,٦ إلى ٠,٨ على التوالي. (B) هـو عـرض القناة

He = الارتفاع (Head) المؤثر فوق الفتحة.

= الارتفاع الحقيقي المقاس + واحد ملليمتر

Cd = معامل التصرف، يتغير من ٠,٥٨ إلى ٠,٧ لمقادير $\left(\frac{b}{B}\right)$ من صفر إلى ٠,٨، حيث B هو عرض القناة.

بالنسبة للفتحة المستطيلة، بدون أي انكماشات، فإنه تطبق معادلة التصرف الآتية:

$$Q = \frac{2}{3} Cd. \sqrt{2g}. b. (He)^{3/2} \qquad (3)$$

(بدون انكماشات طرفية)

حيث:

b = عرض أو طول الفتحة.

He = ارتفاع عمود الماء المؤثر (Effective Head)

= الارتفاع الحقيقي المقاس (H) + ١,٢ ملليمتر

Cd = ٠,٦٠٢ + ٠,٧٥ × $\frac{H}{p}$

حيث P = ارتفاع قاع الفتحة من قاع القناة.

جـ- الفتحات في شكل شبه منحرف (Trapezoidal Notches)

وهذه تسمى كذلك (Cipoletti Notches):

معادلة التصرف للفتحة في شكل شبه منحرف هي كالآتي:

$$Q = 1.859. b. H^{3/2} \qquad (4)$$

حيث:

b = عرض أو طول قاع الفتحة

H = ارتفاع عمود الماء الساكن فوق عتبة الفتحة (Sill of the Notch).

الميزة الرئيسية لمثل هذه الفتحة هي أنه مع مرور التدفق فوق الفتحة، فإن انكماشات الطرف (النهاية) إما أن يتم إبعادها أو خفضها إلى حد كبير.

أجناب الفتحة يجب أن يكون لها ميل (4 V : 1H)، بحيث أن قيمة عرض التصرف تساوي عرض قاع الفتحة (b) + $\frac{1}{2}$ عمود الماء فوق عتبة الفتحة (H).

جـ- الهدارات الخرسانية أو المبنية لقياس التصرفات:

Concrete Or Masonary Weirs for Measuring Discharges:

الهدارات تشبه الفتحات المستطيلة، ولكن لها سمك كبير في اتجاه التدفق (t)، وبذا، فإن معامل تصرفها يكون أقل من تلك للفتحة.

(١) معادلة التصرف للهدار المكتوم (Suppressed) (أي الهدار بدون انكماشات في النهاية – حيث مثل هذا الهدار الذي له طول أو عرض التدفق يساوي عرض المجرى، أو الانكماشات الطرفية تكون مبعدة أو متوقفة) تكون طبقًا للمعادلة.

$$(5) \quad Q = Cd.\sqrt{2g}.\,L.\sqrt{Hh^2 - h^3}$$

حيث:

L = عرض أو طول الهدار غير المتدفق (المكافئ لـ (b) بالنسبة للفتحات – Notches)

h = عمود الماء المسال المقاس فوق وسط الهدار

حالة أقصى تصرف لمثل هذه الهدار ذو القمة العريضة (Broad Crested) هو

$$h = \frac{2}{3}H$$

ولذلك

$$(6) \quad Q_{max} = 1.7\ Cd.\ L.\ H^{3/2}$$

حيث:

L = عرض تدفق الهدار.

H = ارتفاع عمود الماء فوق قمة الهدار في الاتجاه فوق التيار.

Cd = ٠,٨٦٤ إلى ١,٠٠ طبقًا لنسبة H : t (أي نسبة عمود الماء إلـى سـمك الهدار في اتجاه التدفق)، والذي يتراوح من ٠,٤ إلى ١,٦ لقيم H : t أقل من ٠,٤، Cd يمكن ثانيًا أن تؤخذ لتكون مساوية لــ ٠,٨٦٤.

(b) للهدار بتقلصات طرفية End contractions، فإن المصطلح (L) كما استخدم سابقًا في المعادلة (6) يمكن أن يتم استبداله بواسـطة (Le) أي العـرض المؤثر للتدفق.

حيث:

$$Le = L - 0.1\, n.\, H$$

حيث n = عدد التقلصات الطرفية

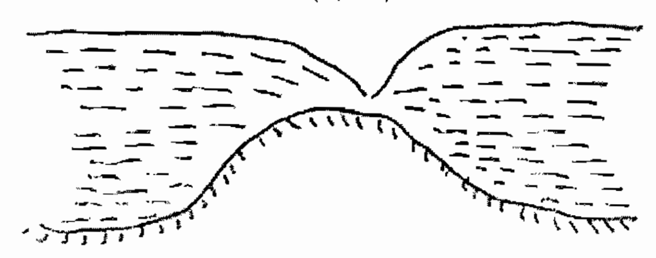
الهدارات تستخدم لقياس التصرفات في القنوات المفتوحة فقط عندما يزيـد ارتفـاع عمود الماء عن ٠,٦ متر، وأدنى طول للهدار (L) يكون ٠,٣ متر.

قيم التصرف التي تم الحصول عليها بقياسات الهدار قد تتراوح مـن ٩٥% إلـى ١٠٥% من التصرف الحقيقي.

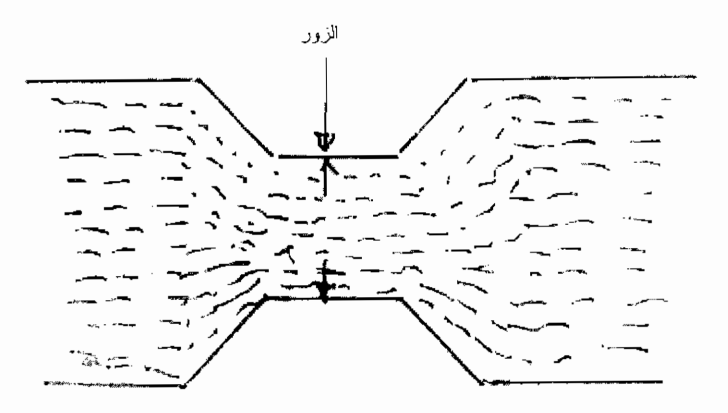
جـ- عدادات التحكم أو مسيلات التموجات المستقرة لقياسات التصرفات في المجاري: Control Meters or Standing Ware Flumes for Discharge:

عداد التحكم: هو منشأ يقام عبر المجرى حيث به يتم الحصول علـى عمـق (b) بتغيير تدفق القناة دون الحرج إلى التدفق فوق الحرج والعكس صحيح. مثـل هـذا التنظيم، يتضمن تكوين تموجات مستقرة أو القفز الهيدروليكي، وبذا، يسمى مـسيل التموجات المستقرة.

الغرض السابق يمكن الحصول عليه إما برفع قاع القناة الشكل (٨/١٨) أو باختناق عرض المجرى (Fluming) شكل (٨/١٩).



شكل (٨/١٨) القمة المرتفعة على طول القناة



شكل (٨/١٩) اختناق العرض على طول القناة

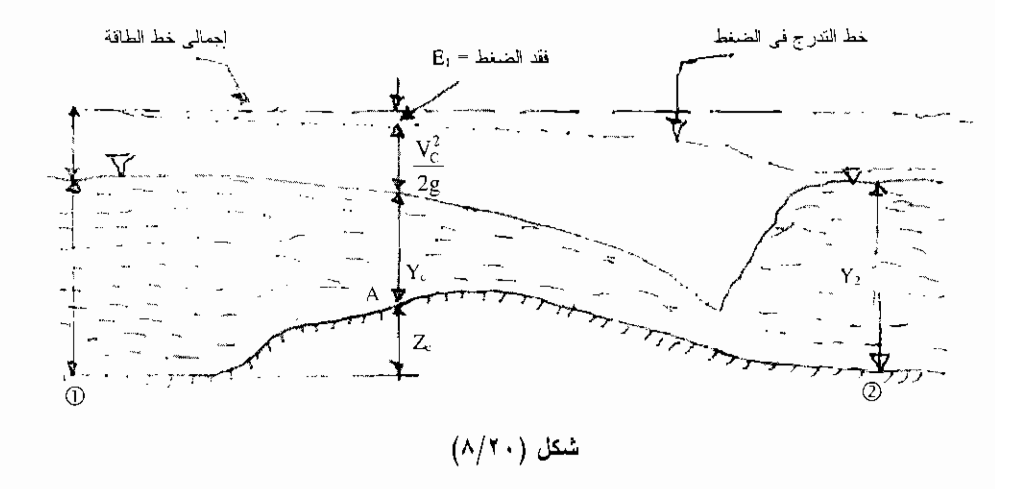
يتم عمل زور المقطع مستطيلاً أو في شكل شبه منحرف. أرضية الزور تكون غالبًا مستوية، بينما أرضية امتداد المخرج يعطي له ميل حاد، كافيًا لتمكين الماء من أن يترك الزور عند السرعة فوق الحرجة، وبذا لضمان وجود العمق الحرج عند نقطة ما في الزور.

لذلك عداد القياس، في حالة التصميم الجيد سيكون. مصاحبًا له ظاهرة القفز الهيدروليكي(Hydraulic Jumb).

إذا كان العمق الأصلي (Y_1) في القناة يزيد عن العمق الحرج (Y_2)، عندئذ فإن القفز سوف يتكون أسفل الاختناق، ولكن فى حالة (Y_1) أقل من (Y_2) عندئذ فإن القفز سوف يتكون فوق الاختناق (Above – Constriction).

انه ليس من الممكن قياس (Y_2) لأن الوضع الصحيح لحدوثه في الزور يتغير مع التصرف، وليس من السهل وجوده حتى لتصرف معين. التصرف يمكن تعيينه باستخدام العلاقة بين التصرف Q والطاقة النوعية عند العمق الحرج كالآتي:-

لنفترض أن (E_0) تمثل أدنى طاقة نوعية (Sp. Energy) عند العمق الحرج (النقطة A) كما في الشكل (٨/٢٠) ثم عند استخدام معادلة برنولي بين النقطة (I) والنقطة (A) فإننا نحصل على



شكل (٨/٢٠)

$$(7) \qquad Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \left[Y_C + \frac{V_C^2}{2g} \right] + Z_C + E_L$$

حيث:

E_L = الفقد في الطاقة في عملية تكوين القفز الهيدروليكي ولكن:

الطاقة النوعية عند $(A) = E_C = Y_C + \frac{V_C^2}{2g}$

لذلك: $Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = E_0 + Z_0 + E_L$

أو $E_C = \left[Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right] - Z_C - E_L$

الفقد في الطاقة (E_L) يكون صغيرًا جدًا خاصة عندما تكون كل الأسطح متصلة بمنحنيات مماسة طول الزور يتم المحافظة عليه ليكون صغيرًا ما أمكن لتجنب فقد الطاقة. ولكن فإنه يجب أن يكون طويلاً بما يكفي لضمان أن العمق الحرج لا يكون ساقطًا خلال الزور. طول الزور بما يقدر بثلاث أضعاف العمق الحرج وجد أنه يعطي نتائج مرضية. مع الفرضيات السابقة، المصطلح (E_L) يصبح صغيرًا ويمكن إهماله.

لذلك، المعادلة (8) يمكن أن تكتب كالآتي:

$$(9) \quad E_C = \left[Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right] - Z_C$$

كلا من (Y_1)، (Z_c) معلومين، (V_1) يمكن إيجادها بالمحاولة، ولذا، E_C يمكن حسابها.

الآن: التصرف Q يكون طبقاً للعلاقة:

(10) Q = C. B0 EC3/2

$$\left(\because Q \, \alpha \, Y_C^{3/2}, \text{ And } Y_C = \frac{2}{3} E_C \right)$$

حيث:

B_0 = عرض الزور

E_C = الطاقة النوعية عند العمق الحرج كما هو موضح

C = ثابت

فإن قيمة E_C كما تم حسابها من المعادلة (9) يمكن أن تستخدم لتقدير (Q) يوضح القيم فى المعادلة (10).

طبقاً للمبادئ السابقة، فإن المعادلة النهائية للتصرف خلال عرض الإختناق لمسيل التموجات المستقرة، حيث (Z = صفر) تكون كالآتى:

$$(11) \quad Q = \frac{2}{3} C_f . \sqrt{2g} \; (B_0 - mb - 2 C_C \; m H) H^{3/2}$$

حيث:

C_f = معامل الاحتكاك والذى له القيم الآتية:

٠,٩٧ فى حالة Q = ٠,٠٥ إلى ٠,٣ متر مكعب فى الثانية.

٠,٩٨ فى حالة Q = ٠,٣ إلى ١,٥ متر مكعب فى الثانية.

٠,٩٩ في حالة Q = ١,٥ إلى ١٥ متر مكعب في الثانية.

واحد في حالة Q = ١٥ متر مكعب في الثانية وأكثر.

B_o = العرض الكلي للزور متضمنًا الدعامات (Piers)

m = عدد الدعامات.

b = سمك كل دعامة.

C_C = معامل التقلص في مقداره ٠,٠٤٥ للـدعامات ذات الأنـف أو المقدمـة المستديرة (Round Noses)، و ٠,٠٤ للدعامات ذات الأنوف المستدقة.

$$H = Y_1 + \frac{V_1^2}{15.2} \bullet$$

حيث:

Y_1 = العمق فوق التيار لعتبة الزور.

V_1 = متوسط سرعة الاقتراب.

(١) مميزات المسيلات ذات التموجات المستقرة:

عدادات التحكم تكون مفضلة للهدارات في حالـة التـدفقات الـضخمة، الأنهـار المحملة بالغرين. الميزة الكبيرة لمقياس التحكم على الهدار هي قدرتـه علـى قيـاس التصرف حتى في المجاري الحاملة للغرين. التدفق أعلى الهدار مباشرة يكون متخلفـا (Retarded) ولذلك يحدث تجميع للغرين، بينما على الجانب الآخر، في حالـة مقيـاس التحكم يكون التدفق فوق التحكم يكون متسارعًا ولذلك فإن الغـرين والأعـشاب يـتم اكتساحها خلال التحكم، ولذلك غالبًا فإنه لا يحدث تراكم للغرين (Silting). ثانيًا، فـإن الأعشاب والكتل الطافية تدمر الهدار ذو القمة الحادة بينما لا يحدث مثل هذا في عـداد التحكم والضبط.

• في الواقع، تأثير سرعة الاقتراب يكون أكبر من $\left(\frac{V_1^2}{2g}\right)$ لأن السرعة في الجزء الأوسط سوف تكون أعلى من متوسط السرعة (V_1). لذلك، فإن ضغط عمود الماء يسبب سرعة الاقتراب يؤخذ بمقـدار $\left(\frac{V_1^2}{15.2}\right)$ بدلاً من $\left(\frac{V_1^2}{2g}\right)$.

قدرة عداد القياس (Control Meter) لقياس التصرف يمكن زيادتهـا أو خفـضها بجعل الزور أوسع أو أضيق على التوالي. ولكن، عداد تحكم معين لا يمكنـه قيـاس التصرف دون حده السفلي. لذلك، لقياس التصرف دون أدنى حد للمقـاييس الـضخمة (Large Meters)، فإنه يتم عادة إقامة عداد قياس آخر أصغر أو أحيانًا هدار بـالتوازي مع ذلك الأكبر.

(٢) حدود المسيلات بالتموجات المستقرة:

تلك المسيلات يمكن أن تستخدم فقط عندما يزيد ارتفاع عمود الماء (Head) عـن ٦ سم، وتكون نسبة Y_2 إلى Y_1 أي (العمق فوق العتبة Sill في الاتجاه تحت التيار + العمق فوق العتبة في الاتجاه فوق التيار للزور) يجب أن يكون دائمًا أكبر من ٠,٥.

عندما تكون النسبة Y_2 إلى Y_1 أقل من ٠,٥، عندئذ فإنه يمكن اسـتخدام مـسافة السقوط (Drop) بدلاً من المسيل.

أدنى عرض للمسيل سوف يكون ٩سم.

قيم التصرف التي تم الحصول عليها بالقياسات بواسـطة مـسيلات التموجـات المستقرة سوف تتغير من ٩٥% إلى ١٠٥% من التصرفات الحقيقية.

مسيل بارشال (Parshal Flume)

مسيل بارشال هو كذلك نوع من المسيلات بالتموجات المـستقرة ذات الاختنـاق شكل (٢)، والمستخدم على نطاق واسع لقياسات التصرف، وذلك طبقًا للمعادلة.

$$Q = CWY_1^{\,2.58} \quad (12)$$

حيث:

W = عرض الزور بالمتر

Y_1 = العمق المقاس بين فوق التيار وتحت التيار بالمتر.

C = ثابت. قيمة هذا الثابت تتوقف على حجم الزور. عادة تؤخذ قيمـة C 2.42 لمعظم المجالات حيث يستخدم خلال مسيل بارشـال. أي بالنـسبة لـــ (Q)

تتراوح من ٠,٠٠١ متر مكعب في الثانية إلى ١٠٠ متر مكعب في الثانيـــة (أي أن عرض الزور يتراوح ما بين ٧,٥سم إلى ١٥متـــر). هـــذا العامـــل العددي يعرض كذلك إلى ٤٠% تغير في الحالات القصوى (أقل فـــي حالـــة العروض الأصغر). لذلك فإن المعادلة السابقة تصبح

$$(12\ a) \quad Q = 2.42.\ W.\ Y_1^{2.58}$$

د – مسيلات الفنشوري لقياس التصرفات:

Venturi flumes fro Measuring Discharges:

مسيلات الفنشوري مثل المسيل ذو الاختناق بالموجات المستقرة، ويتضمن اختناق لمقطع القناة عند الزور، ولكن الاختناق لا ينتج حالات حرجة، حيث يتـــضمن تغيـــر التدفق من دون الحرج إلى عالي الحرج وبالعكس.

التصرف لمثل هذه المسيل الفنشوري يكون طبقًا للمعادلة.

$$(13) \quad Q = 0.5445\ C_V.\ C_e.\ \sqrt{g}\ \ b\,H^{3/2}$$

حيث:

C_V = معامل السرعة والذي يكون ما بين ١,٠٤ إلى ١,١٥

C_e = معامل الترف المؤثر، ويتراوح ما بين ٠,٨٨٥ إلى ٠,٩٩، طبقًا للتغير مـــا بين (H إلى I) من ٠,٠٥ إلى ٠,٧، حيث (I) هو طول الزور فـــي اتجـــاه التدفق.

b = عرض الزور العمودي على التدفق.

H – ارتفاع عمود الماء في مقطع الزور.

مسيلات الفنشوري تستخدم فقط عندما يكون عمود الماء المتاح ما بين ٥سم إلـــى ١,٨متر، وأن أدنى عرض للمسيل يكون ٩سم.

قيم التصرف التي يتم الحصول عليها بقياسات المسيلات الفنشوري قد تتراوح ما بين ٩٥% إلى ١٠٥% من التصرف الحقيقي.

هـ- مسافات السقوط لقياس التصرفات: Drops for Measuring Discharges

مساقط القناة على طول القناة المكشوفة توفر طريقة سهلة للحساب الأولي لتدفق التصرف خلال القناة. معادلة التصرف في هذه الحالة هي:

$$(14) \quad Q = \sqrt{g}.\ B.\ Y_C^{3/2}$$

حيث:

B = عرض القناة المكشوفة.

Y_o = العمق الحرج.

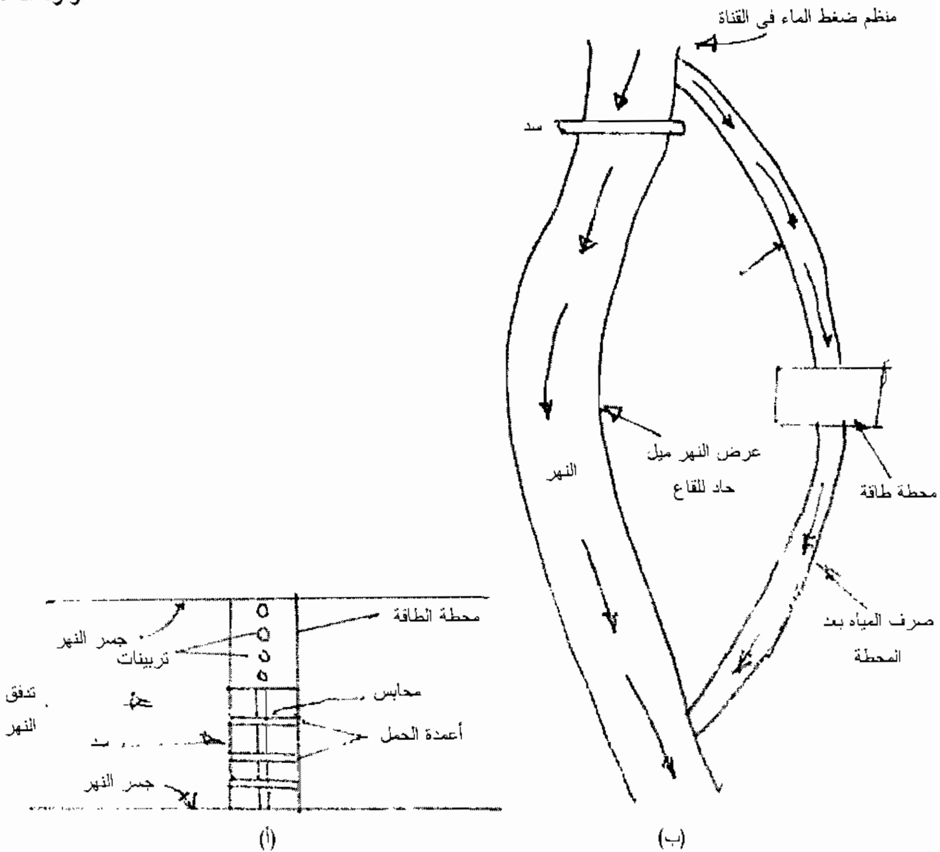
المعادلة السابقة قابلة للتطبيق، على أساس وجود أدنى استقامة للطول تساوي ٢٠ ضعف العمق الطرفي لقناة الاقتراب. في مثل هذه الحالات تكون النسبة بين العمق الطرفي والعمق الحرج بمقدار (0.7)، والذي تم حسابه في المعادلة السابقة.

ولكن هذه الطريقة محدودة فقط لتلك الحالات حيث العرض للقناة يكون لا يقل عن ٠,٣متر، وأن العمق الحرج (Y_C) يكون لا يقل عن ٥سم، والتي هي الحالة العامة في كل مساقط القناة.

قيم التصرف التي يتم الحصول عليها بالقياسات عند المساقط قد تتراوح ما بين ٩٠% إلى ١١٠% من التصرفات الحقيقية.

محطات نهر التدفق السطحي:

تلك المحطات هي التي تستخدم أدنى تدفق في النهر مع عدم وجود بركة كبيرة على الجانب المواجه للمنبع، يتم أحياناً إقامة هدار أو سد صناعي عمودي أعلى النهر لرفع واستمرار منسوب المياه عن مستوى سبق تحديده خلال حدود ضيقة من المتغيرات، إما منفرداً لمحطة الطاقة أو لغرض آخر حيث تكون محطة الطاقة طارئة. هذا المخطط هو مخطط الضغط المنخفض وقد يكون مناسباً فقط على النهر المعمر الذي له تدفق كافي في المناخ الجاف بالمقدار الذي يجعل من الإنشاء فائدة شكل (٨/٢١).



شكل (٨/٢١) مخطط الضغط المائى المنخفض

محطات التدفق السطحي للنهر لها طاقة تخزين محدودة جدًا لتعزيز التدفق الطبيعي للمجرى، هذه الطاقة التخزينية الصغيرة تسمى (Pondage)، ويتم توفيرها لمقابلة التغيرات من ساعة إلى ساعة من حمل الطاقة أو لتدفق المجرى خلال اليوم، أو أحيانا التغيرات من يوم إلى يوم خلال الدورة الأسبوعية. لذلك، عندما يكون الصرف المتاح عند الموقع يزيد عن المطلوب (خلال ساعات غير الذروة)، فإن الماء الزائد يتم تخزينه مؤقتًا في الحوض على الجانب في اتجاه المنبع من السد المؤقت والذي يستخدم عندئذ خلال ساعات الذروة.

محطات الطاقة المنشأة على قنوات التحويل (قنوات الري والطاقة)، تسمى محطات قناة التحويل، ويمكن وصفها كذا في هذا التصنيف.

٤ – محطات المد (Tidal Plants)

محطات المد لتوليد الطاقة الكهربائية هي تطوير قريب وحديث والذي يعمل أساسًا على مبدأ أنه يوجد ارتفاع في مياه البحر خلال فترة المد العالي والهبوط خلال فترة الجزر أو الانحسار المنخفض (Low Ebb). المياه ترتفع وتسقط مرتين في اليوم، كل دورة سقوط تشغل حوالي ١٢ ساعة، ٢٥ دقيقة. ميزة هذا الارتفاع والسقوط للمياه يتم استخدامها في محطة المد. بمعنى آخر، فإن مجال المد (Tidal Range) أي الفرق بين مستويات المد العالي والمنخفض يتم استخدامه لتوليد الطاقة. يتم هذا بإنشاء حوض منفصل عن المحيط بواسطة حائط حاجز وإقامة التربينات خلال هذا الحائط.

تقسيم محطات الطاقة المائية على أساس ضغط التشغيل والتربينات:

Classification of Hydroplants on the Basis of Operating Head and Turbines:

على هذا الأساس فإن المحطات يمكن تقسيمها إلى الأنواع الآتية:

١- ذات الضغط المنخفض (Low Head) أقل من ١٥ متر.

٢- ذات الضغط المتوسط (Medium Head) أقل من ٦٠ متر.

٣- ذات الضغط العالي (High Head) يزيد عن ٦٠ متر.

١ – محطات الطاقة ذات الضغط المنخفض:

مخطط الضغط المنخفض هو ذلك المستخدم لضغط الماء الأقل من ١٥ متر.

محطة النهر الجاري هي أساسًا ذات مخطط الضغط المنخفض. في هذا المخطط يتم إنشاء هدار أو سد صناعي (Weir or Barrage). لرفع منسوب المياه، ويتم إنشاء محطة الطاقة إما مع استمرار السد الصناعي شكل (٥ – أ) أو عند مسافة ما في اتجاه المصب للسد، حيث يتم أخذ الماء إلى محطة الطاقة خلال قناة المآخذ شكل (٥ – ب).

٢ - *مخطط الضغط المتوسط:*

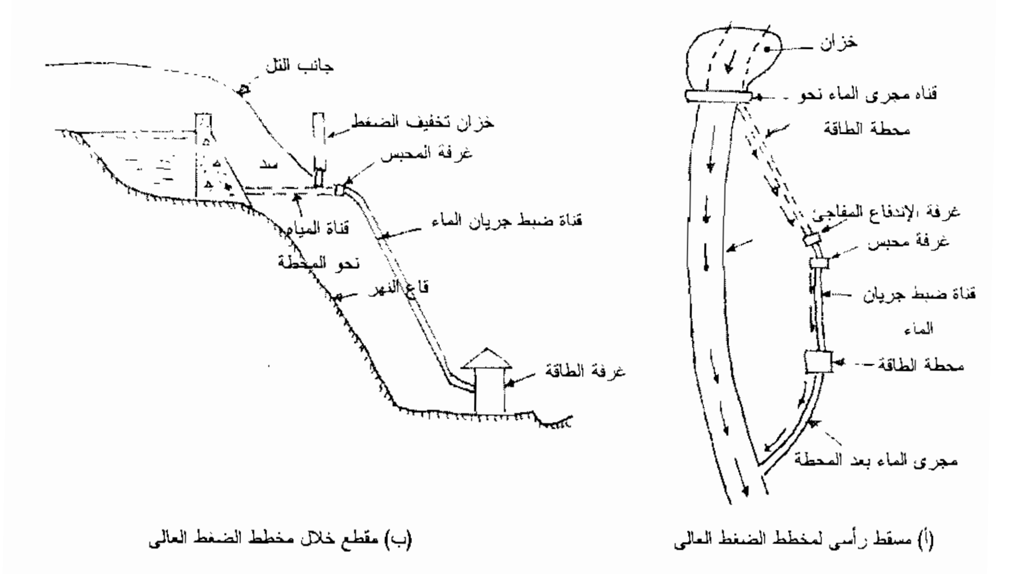
مخطط الضغط المتوسط هو ذلك المستخدم لضغط المياه ما بين ٥ إلى ٣٠ متــر. هذا المخطط هو مخطط سد التخزين، رغم أن ارتفاع السد يكون متوســط. هــذا المخطط له مظاهر ما بين المخطط للضغط المنخفض والمخطط للضغط العالي.

٣ - *مخطط الضغط العالي:*

مخطط الضغط العالي هو ذلك المستخدم لضغط الماء الذي يزيد عن ٦٠ متر.

السد بالارتفاع الكافي يكون لذلك مطلوب إنشاؤه لتخزين المياه في جانــب اتجــاه المنبع واستخدام هذا الماء خلال العام. تم الوصول إلى مخططات الضغط العــالي حتى ١٨٠٠ متر. شكل (٢١ – أ، ب).

كذلك فإن المساقط الطبيعية العالية يمكن كذلك استخدامها لتوليد الطاقــة الكهربيــة مثل شلالات نياجرا.



(أ) مسقط رأسي لمخطط الضغط العالي

(ب) مقطع خلال مخطط الضغط العالي

شكل (٨/٢٢) مخطط الضغط العالي للماء

الفصل التاسع

استخدام المياه فى الرى والطاقة

Water use in Irrigation and Power

١– أهمية كفاءة استخدام المياه:

الماء ضروري للنبات بسبب ضرورة أخذ النبات لكميات مختلفة من الماء في المراحل المختلفة لنمو النبات. في حالة عدم الإمداد الموقوف للنبات بالماء فإنه يعرض لتأثيرات ضارة، التي ينتج عنها انخفاض المحصول. فلقد وجد أن الإنتاجية الحالية لأنواع الحاصلات مثل الحنطة ترتبط بتوقيت وكمية المياه بسبب أن إنتاجيتها أو معدل النمو يكون أسرع، ذلك رغم أنها لا تحتاج ماء زائد عن الأنواع التقليدية. يجب معرفة أن استخدام الأسمدة الأساسي للأنواع الجديدة فإنه لا يزيد من متطلبات الماء للحاصلات الزراعية ولكن يحقق زيادة في الإنتاج بكمية معينة من الماء، لذلك فإن كفاءة الماء تزداد باستخدام الأسمدة.

٢– المصطلحات الأساسية وهى:

أ– استهلاك المستخدم (Consumptive use) (Cu)

الاستهلاك هو كمية المياه المستخدمة بواسطة النبات لأداء نشاطه الأيضي (Metabolic) وتلك المفقودة بسبب البخر والنتح. نظرًا لأن الماء المستخدم في أيض النبات يكون مهملاً لكل الأغراض العملية، فإن استهلاك المستخدم يساوي عدديًا البخر والنتح (Evapotranspiration).

أو $C_u = E_T$

وهذا يقدر عمومًا بعمق الماء بالمليمتر.

ب- سقوط المطر المؤثر (R_e) (Effective Rain Fall)

سقوط المطر المؤثر هو الترسيب الساقط خلال فترة النمو للمحصول والذي يكون متاحًا لمطابقة متطلبات البخر والنتح للمحصول. ولا يشمل الترسيب الذي يفقد سواء بالتدفقات فوق سطح الأرض (Run off) أو التسرب العميق أسفل منطقة الجذور للنبات.

جـ- الحمل لرطوبة التربة (Carry-Over Soil Moisture)

الحمل لرطوبة التربة هو الرطوبة المخزنة في عمق منطقة الجذور في التربة قبل زراعة المحصول. هذه الرطوبة تساهم كذلك في تحقيق متطلبات البخر والنتح للنبات.

د – معامل الذبول (Wilting Coefficient)

معامل الذبول هو نسبة المحتوى من المياه بالوزن التي عندها يذبل النبات أو يهن. النباتات عموماتهن (Droop) عندما يزيد معدل النتح (فقد النبات للماء خلال الأوراق) عن المعدل الذي عنده يمكن للجذور أن تمتص الرطوبة من التربة وتنقلها إلى الأوراق. النباتات تذبل باستمرار عند نقص المياه، عندما يكون دفع الجذور ليس كبيرًا بما يكفي للحصول على الماء الطافي في الوقت المناسب لمنع حدوث الذبول. كمية الرطوبة في التربة في هذه الحالة تسمى نسبة الذبول المستديم (Percentage of Perpanent Wilting). وهي تكون عالقة بقوة (١٥ جوي).

هـ- كفاءة الري (Irrigation Efficiency) ($I\eta$):

كفاءة الري هي نسبة مياه الري المستخدمة المخزنة في التربة والمتاحة لاستخدام الاستهلاك بواسطة النبات. عند قياس الماء عند دخول الحقل، فإنه يسمى كفاءة الري الحقلي(Farm Irrigation Efficiency).

و – متطلبات مياه الري (IR) Irrigation water requirement

هي مياه الري المطلوب استخدامها لإنجاح نمو الحاصلات. ويتم الحصول عليها بقسمة صافي متطلبات الري على كفاءة الري.

$$I_R = \frac{N_{IR}}{I_\eta}$$

حيث:

N_{IR} = هو صافي ماء الري المطلوب ويمكن تعريفه بعمق مياه الري بخلاف الترسيبات، ومخزون رطوبة التربة أو المياه الأرضية اللازمة لتلبية متطلبات حاجة النبات للنتح والبخر.

٢– علاقة المحصول والماء: (Pertaining to Crop and Water)

الفترات الحرجة لنمو المحصول:

تلك هي فترات أو مراحل محددة خلال موسم النمو والتي تحدث النمو الواضح في النبات. أي نقص في محتوى التربة من الرطوبة المتاحة خلال تلك الفترات سوف يكون له تأثير ضار على إنتاجية المحصول. لذلك، فإن تلك تعرف بالفترات الحرجة لنمو الحاصلات الزراعية. (Critical Peroids of crop Growth). فى حالة القمح فإنها تكون سبعة مراحل للنمو وهى:

النتوء والبروز (Emergence) – ٢٥ يوم

ظهور أعلى الجذر (Grownroot Development) – ٢٠ يوم

الحرث - Tillering – ٢٠ يوم

القلق Jointing – ٢٠ يوم

امتلاء الحبة Grain Filling – ٥٠ يوم

إجمالي فترة النمو = ١٣٥ يوم

من هذه تعتبر الفترات الحرجة هي النتوء والبروز وظهور جذور النبات، الحرث، امتلاء الحبة. من المهم أن الري يجب أن يتم توفيره خلال الفترات الحرجة لإزالة نقص الرطوبة في التربة.

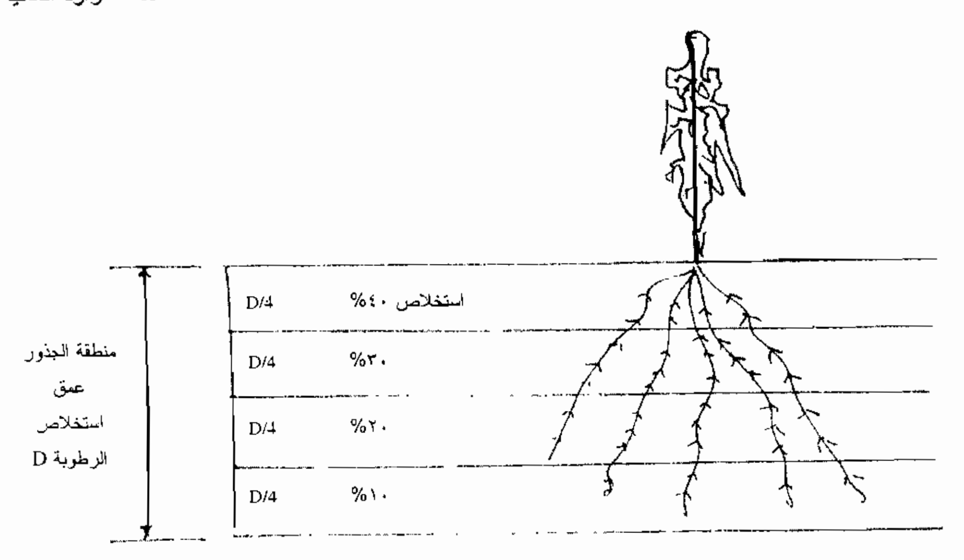
عمق منطقة الجذور(Root zone Depth)

عمق منطقة الجذور هو العمق الذي تخترقه جذور النبات في التربة لتنمية نظامها الجذري. من المهم أن يتم توفير الرطوبة للتربة في الجوار الملاصق لجذور النباتات لتتمكن من سحب الماء اللازم لنموها. عمق منطقة الجذور يعتمد أساسًا على أنواع المحاصيل والتربة. بينما تخترق جذور الذرة، القطن، والحنطة التربة الصلبة ذات النفاذية إلى عمق، ١,٠ متر، فإن قصب السكر يصل عمق اختراقه إلى ٢ متر. من الملاحظ أن جذور معظم الحاصلات في عمق أكبر في التربة الرملية عنها في حالة التربة الطفلية.

عمق منطقة الجذور لاستخلاص الرطوبة:

Root zone moisture Extraction Depth (D)

هو العمق لمنطقة الجذور للنبات الذي منه يستخلص النبات الرطوبة من جذوره. الإطار العام للاستخلاص في التربة المتجانسة حيث الرطوبة المتاحة موضحة في الشكل (٩/١) يبين أن حوالي ٤٠% من الرطوبة المستخلصة تأتي من الربع العلوي لمنطقة الجذور، ٣٠% من الربع الثاني و٢٠% من الربع الثالث و١٠% من الربع عند قاع منطقة الجذور. القيم لمختلف الحاصلات تقع في المجال من ± ١٠%. يجب ملاحظة أن عمق استخلاص الرطوبة لمنطقة الجذور يساوي عدديًا عمق منطقة الجذور. ولكن، لتعيين متطلبات مياه الري، فإن عمق التربة يكون هو العمق الذي يمكن جذور النبات متوسط النضج من استخلاص رطوبة التربة إلى الحد من استبداله بالري.



شكل (٩/١) الإطار العام لإستخلاص الرطوبة فى منطقة الجذور

مستوى الرطوبة (Moisture level)

الإنتاج المحصولي يقاسي بسبب نقص الرطوبة في التربة، الهدف الرئيسى من الري هو التغلب على نقص الرطوبة وذلك بتوفير الرطوبة عند الجذب المنخفض الكافي (Sufficiently low Tension) خلال منطقة الجذور لمحصول معين. لذلك فإنه يكون من الضروري استمرار أدنى مستوى من الرطوبة بنسبة ٥٠% لمعظم المحاصيل. هذا يعني أنه في حالة هبوط مستوى الرطوبة في التربة إلى ٥٠%، فإنه يجب استخدام الري. إذا كان عند كل ري يتم الوصول للتربة إلى أقصى طاقة حقلية (١٠٠% لرطوبة التربة المتاحة)، عندئذ يتم تأكيد مستوى الرطوبة ما بين الطاقة الحقلية و ٥٠% في كل الأوقات. الأداء العادي للري هو المحافظة على مستوى الرطوبة في فصل الربيع عند ٥٠% من مستوى رطوبة التربة المتاحة بعد الرية الأولى لنمو المحصول. في فصل الخريف وفي فصل الشتاء فإن الأمطار قد تصل بنسبة الرطوبة إلى ما يزيد عن ١٠٠% من مساحة المحصول. في هذه الحالة، يتم الري فقط عند هبوط مستوى الرطوبة إلى حوالي ٦٠ – ٧٠ من الرطوبة المتاحة.

٣– علاقة الرى والأرض (Pertaining To irrigation on Land)

إجمالى الإدارة للمساحة: (GCA) (Gross Commanded Area)

وهذه تعرف بإجمالي المساحة المروية التي يمكن إدارتها بقناة الري. مثل هذه المساحة تكون عادة محصورة على الأجناب بالصرف الذي خلاله لا يمكن وصول أي ري آخر. علاقة الري بالأرض تشمل المساحة غير المزروعة مثل البرك، الغابات، والأرض القلوية والقاحلة والطرق والمنازل.. الخ.

مساحة الخدمة الزراعية (CCA – Culturable commanded Area)

وهذه هي المساحة الزراعية المخدومة بقناة الري التي تمكن من النمو الكافي للنبات. مساحة الخدمة الزراعية تتحدد بطرح كل الأرض القابلة للزراعة من إجمالي الأرض التي يمكن إدارتها بقناة الرى. Vi:

GCA = CCA – المساحة غير المزروعة من GCA

كثافة أو شدة الرى: (Intensity of Irrigation)

كثافة أو شدة الري هي نسبة المساحة الزراعية المخدومة بقناة الرى (CCA) والمقترح ريها سنويًا. حيث الري يتم طبقًا لفصل المحصول أي الربيع أو الخريف، فإن التعريف المحدد لكثافة الري هو نسبة المساحة الزراعية المروية (CCA) في نفس الوقت في موسم محصول واحد.

نسبة المحصول (Crop Ratio)

هي نسبة المساحات المحصولية للخريف والربيع وهي تسمى كذلك نسبة إلى الخريف وإلى الربيع.

تجاوز التطابق (Overlap Allowance)

الحاصلات من موسم ما قد تمتد إلى موسم آخر. عند وجود مثل هذا التطابق فإن كلا الموسمين يحتاج إلى الماء في نفس الوقت، مما خلق زيادة الطلب على الماء.

لتوفير هذه الزيادة، فإن تجاوز التطابق بمقدار ٥% من صرف قناة الماء يتم تـوفيره. هذا يعْني أن صرف القناة يزداد بنسبة ٥% لهذه الفترة من التطابق.

معامل السعة (Capacity Factor)

معامل السعة هو نسبة متوسط الصرف للقناة عند نقطة الصرف الكامل للإمـداد المقرر أو سعة القناة عند تلك النقطة. كامل السعة يتراوح ما بين ٠,٥ إلى ٠,٩

الدلتا (Δ) (Delta):

الدلتا هي عمق الماء الذي ينتج فوق مساحة معينة عند الري من صـرف معـين لطول زمن معين. تحديدًا، الدلتا هي عمود الماء اللازم لنضج المَحصول خلال فتـرة نموه. ويعبر عنه عادة بالسنتيمتر.

القيم المتوسطة لدلتا بعض الحاصلات الهامة.

متوسط الدلتا لمختلف الحاصلات

المحصول		دلتا (سم)
أ- الربيع	القمح	٣٥ – ٦٠ سم
	العلف	٣٠ – ٥٠ سم
ب- الخريف	الأرز	١٢٠ – ١٨٠سم
	الذرة	٤٥ – ٦٠ سم
	القطن	٥٠ – ٧٥ سم
	قصب السكر	١٤٠ – ٢٠٠ سم

الفترة الأساسية: (B) (Base Period)

الفترة الأساسية هي الفترة الزمنية بالأيام ما بين أول ري بالماء للمحـصول فـي وقت نثر البذور إلى آخر ريه قبل الحصاد.

المقنن: (D) Duty:

المقنن هو العلاقة بين كمية الماء والمساحة التي يتم استخدام هذه الكمية من المياه عليها للمحصول الجاري نموه. بمعنى آخر فإن المقنن هو عدد الهكتارات لمحـصول

معين إلى حالة النضج بالإمداد المستمر للمتر المكعب من الماء على الهكتار (ICu mec.) المتدفق باستمرار فى الفترة الأساسية.

مقنن مياه القناة قد يكون عاليًا أو منخفضًا طبقًا لمكان نقط التحكم. المقنن العالي يعني أن كمية صغيرة من الماء يمكن أن تنضج مساحة كبيرة نسبيًا للمحصول والمقنن المنخفض يحدث عندما يكون العكس صحيح أي كمية كبيرة من الماء تنضج مساحة محصول صغيرة نسبيًا. عند حساب مقنن مياه القناة عند بداية الشغل (Head of Work)، فإنها تسمي المقنن الكلي (Cross Duty) الذي هو مقنن منخفض. ولكن المقنن المحسوب عند المخرج يسمى معامل الخروج (Outlet Factor)، وهو مرتفع. ذلك لأن كمية كبيرة من الماء تفقد أثناء الرحلة من بداية الشغل إلى قناة الحقل بحيث أن الماء المتاح للري عند الطرف النهائي (Tail End) يكون أقل كثيرًا والمساحة المطلوب زراعتها تكون أكبر كثيرًا.

العلاقة بين المقنن (D) والفترة الأساسية (B) ودلتا (Δ) تم استنتاجها كالآتي:

<u>من خلال تعريف المقنن والدلتا:</u>

١ متر مكعب / الثانية من الماء لعدد (B) يوم يعطي عمق (Δ) متر فوق (D) هكتار من الأرض.

أو ١ متر مكعب / الثانية لمدة يوم واحد تعطي عمق (Δ) متر فوق $\frac{D}{B}$ هكتار.

أو ١ متر مكعب / الثانية لمدة يوم واحد تعطي $\frac{D\times\Delta}{B}$ هكتار. متر ماء الآن:

١ متر مكعب/ الثانية من الماء المتدفق لمدة يوم يقيس:

١ × ٦٠ × ٦٠ × ٢٤ = ٨٦٤٠٠ متر مكعب من الماء

= ٨٦٤٠٠ متر مربع × متر

واحد هكتار = ١٠٠٠٠ متر مربع.

∴ ١ متر مكعب / الثانية = $\frac{86400}{10000}$ = ٨,٦٤ هكتار متر

وحيث أن ١ متر مكعب / الثانية لمدة يوم واحد تعطي:

$$\frac{D \times \Delta}{B} = \text{هكتار متر ماء}$$

$$\therefore \frac{D \times \Delta}{B} = ٨,٦٤$$

$$\therefore D = \frac{B\ 8.64}{\Delta}$$

حياة الري: (Irrigation Watering)

<u>الرية الأولى أو رية التحاريق (Poleo)</u>

وهي الرية الأولى قبل نثر البذور بهدف إضافة إلى الكامن إلى المنطقة غير المشبعة من التربة للنمو الأولى للمحصول.

الرية الأولى بعد نمو النبات إلى عدة سنتيمترات أو التي تسمى الرية الثانية من البداية أو رية المحاياه (Kor watering). وهذه عمومًا تتطلب أقصى عمق للماء ويسمى عمق ماء المحاياه (Kor).

ولذلك فإنه هام لتصميم قنوات الري – فترة الري هذه تسمى فترة المحاياه (Kor period).

مثال:

مجرى مائي له GCA = ١٢٥٠٠ هكتار، CCA = ٨٠% من GCA. كثافة الري لمحصول القمح هي ٤٥% وللأرز ٣٠%. القمح له فترة ري المحاياه (Kor Peroid) ٢٨ يوم بينما الأرز له ٢٠ يوم مع إهمال الفقد، احسب الصرف الخارج. عمق ريه المحاياه للقمح والأرز هي ١٢سم، ٢٠سم على التوالي.

الحل:

GCA = ١٢٥٠٠ هكتار

CCA = ١٢٥٠٠ × ٠,٨ = ١٠٠٠٠ هكتار.

المساحة المروية للقمح = ١٠٠٠ × ٤٥/١٠٠ = ٤٥٠ هكتار.

المساحة المروية للأرز= ١٠٠٠ × ٣٠ / ١٠٠ = ٣٠٠ هكتار

إعادة كتابة المعادلة = $D = \frac{8.64\,B}{\Delta}$

المقنن أو معامل الخروج = $\frac{\text{٨٫٦٤ × فترة ري المحاياه بالأيام}}{\text{عمق مياه المحاياه بالمتر}}$

Duty For wheat المقنن للقمح = $\frac{\text{٢٨ × ٨٫٦٤٠}}{\text{٠٫١٢}}$ = ٢٠١٦ هكتار/متر مكعب/الثانية

Duty For Rice المقنن للأرز = $\frac{\text{٢٠ × (٨٫٦٤)}}{\text{٠٫٢}}$ = ٨٦٤ هكتار/متر مكعب/الثانية

الصرف عند المخرج = $\frac{\text{المساحة المروية}}{\text{المقنن}}$

الصرف عند المخرج للقمح = $\frac{\text{٤٥٠}}{\text{٢٠١٦}}$ = ٠٫٢٢ متر مكعب/ثانية

الصرف عند المخرج للأرز = $\frac{\text{٣١٠}}{\text{٨٦٤}}$ = ٠٫٣٦ متر مكعب/ثانية

استخدام مياه الري (Application of Irrigation Water)

المشكلة الأساسية المتعلقة بالاستخدام الكفؤ للمياه في الري هو تأكيد كمية المياه المطلوب استخدامها وأفضل وقت للري. من المهم أن الكمية الصحيحة من الماء يتم استخدامها طبقًا لحاجة المحصول بما يحقق أفضل نمو للمحصول وإعطاء أقصى إنتاجية. في حالة استخدام الماء الزائد عن الحاجة للوصول إلى مستوى الرطوبة للتربة طبقًا لقدرة الحقل، فإن الماء الزائد يفقد إما بالتسرب العميق أو التدفق السطحي أو الانسياب السطحي (Run off). على الجانب الآخر، في حالة عدم استخدام الماء الكافي، فإن إنتاجية المحصول تقل.

كمية الماء اللازم استخدامها عند كل رية تعتمد على كمية الرطوبة المتاحة العالقة على التربة في عمق استخلاص الرطوبة المستخدم في تصميم النظام وعلى مستوى الرطوبة المتاح عند بداية الري. لذلك فإن صافي كمية المياه اللازم استخدامها عند كل رية تصبح عندئذ الكمية التي يمكن للتربة أن تحتجزها ما بين قدرة الحقل (Field

(Capacity) وبداية مستوى الرطوبة. فمثلاً، إذا كانت التربة تحتجز ١٥سم، من الرطوبة المتاحة في عمق رطوبة التربة التصميمي وأن الري التالي بدأ عند مستوى ٦٠%، فإن الكمية الصافية التي يجب أن تضاف إلى التربة عند كل رية هي:

١٥ × ٦٠/١٠٠ = ٩سم

توقيت الري: (Timing of Irrigation)

توقيت الري يعتمد على عاملين وهما:

تكرار الري (Irrigation Frequency) فترة الري (Irrigation Peroid).

- ***تكرار الري:***

تكرار الري هو عدد الأيام بين الاستخدام للمياه أو الري خلال فترة أعلى استخدام استهلاكي لنمو المحصول. أي أنه الفترة الزمنية حيث لا يتم استخدام الري. وهو يعتمد على معدل الاستخدام الاستهلاكي لنمو المحاصيل والرطوبة المتاحة في استخلاص الرطوبة ما بين السعة الحقلية (Field capacity) وبداية مستوى الرطوبة للري. كلما زاد المعدل الذي يتم عنده استخلاص رطوبة التربة عند نتح البنات عند أقصى معدل، فإن التكرار سوف يكون أقل. هذا يكون واضحًا من العلاقة الآتية:

$$\text{تكرار الري} = \frac{\text{الرطوبة المتاحة فى عمق الاستخلاص بالسنتيمتر}}{\text{فترة ذروة الاستخدام الاستهلاكى سم/اليوم}}$$

- ***فترة الري: (Irrigation period)***

فترة الري هي الفترة بالأيام لاستخدام رية واحدة على المساحة عند نمو المحصول.

متطلبات الري للحاصلات:

صافي متطلبات الري يمكن تمثيلها تحديدًا بالمعادلة الآتية:

$$N_{IR} = C_u - (R_e + G_w)$$

حيث:

C_u = الاستخدام المستهلك للماء.

R_a = سقوط المطر لمؤثر

Gw = مساهمة المياه الجوفية

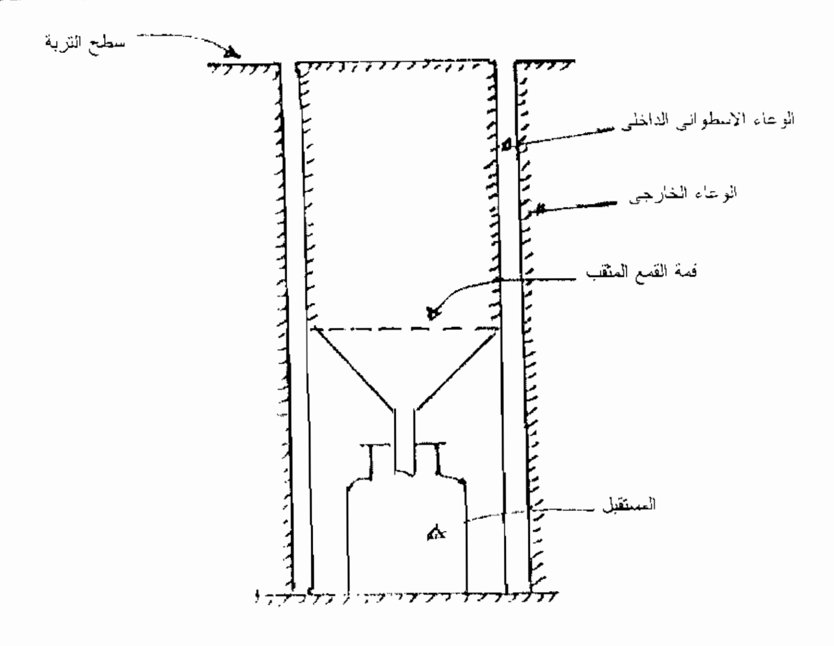
بينما الاستخدام الاستهلاكى يتم تقديره باستخدام المعادلة التي تـم مناقـشتها فـي الفصل رقم (٤)، فإن سقوط المطر المؤثر، والمياه الأرضية، والذي يكون من الصعب تعيينهم، مساهمتهم ليست كبيرة عمومًا. لإيجاد متطلبات الري على نظام قناة، فإنه يتم اختيار فترة من ١٠ إلى ١٥ يوم، مقادير حاجات الري للمحاصيل لهذه الفترة (ηir) يتم تعيينها بطرح مقادير مساهمة المطر المؤثر، المياه الجوفيـة.. إلـخ، مـن إجمـالي متطلبات المياه. تلك المقادير الدورية المتكررة (Periodic Values) عند إضافتها علـى المدة الكلية (Entire period) توفر إجمالي متطلبات الري للمكان بعد التصميم لكفـاءة الري أى:

$$N_{IR} = \sum nir$$

$$I_R = \frac{N_{IR}}{1_\eta}$$

قياس المطر المؤثر (Measurement of Effective Rain fall)

سقوط المطر المؤثر هو الجزء من المطر الساقط الذي يستخدمه المحصول لتلبية متطلبات استخدامه الاستهلاكي. مقداره يتوقف على عدة عوامل مثل كمية وشدة سقوط المطر، النقص الأولى في الرطوبة، معاملات التحكم فـي معـدل التـسرب للتربـة والمحصول. لذلك فإنه لا توجد علاقة واحدة لتفسير كل العوامل السابق ذكرها. أفضل طريقة لقياس سقوط المطر المؤثر هي بمساعدة جهاز سقوط المطر المـؤثر. نمـوذج لجهاز سقوط المطر المؤثر (Effective Rain Fall) موضح في الشكل (٩/٢).



شكل (٩/٢) جهاز سقوط الأمطار المؤثر

يتم وضع الجهاز في حقل المحصول ونفس المحصول يتم نموه في الجهاز كما في الحقل. عمق التربة في الوعاء يساوي عمق منطقة الجذر المؤثر للمحصول (Effective Root Zone of crop). الوعاء يتم ريه بالماء مع الحقل وبعد كل رية أو سقوط المطر، فإن الماء المسحوب خلال قمة القمع المثقب والقمع يتم تجميعه في المستقبل. إجمالي سقوط المطر ناقص مياه الصرف المستجمعة في المستقبل تعطي سقوط المطر المؤثر شريطة عدم وجود فقد بالتدفق السطحي في الحقل.

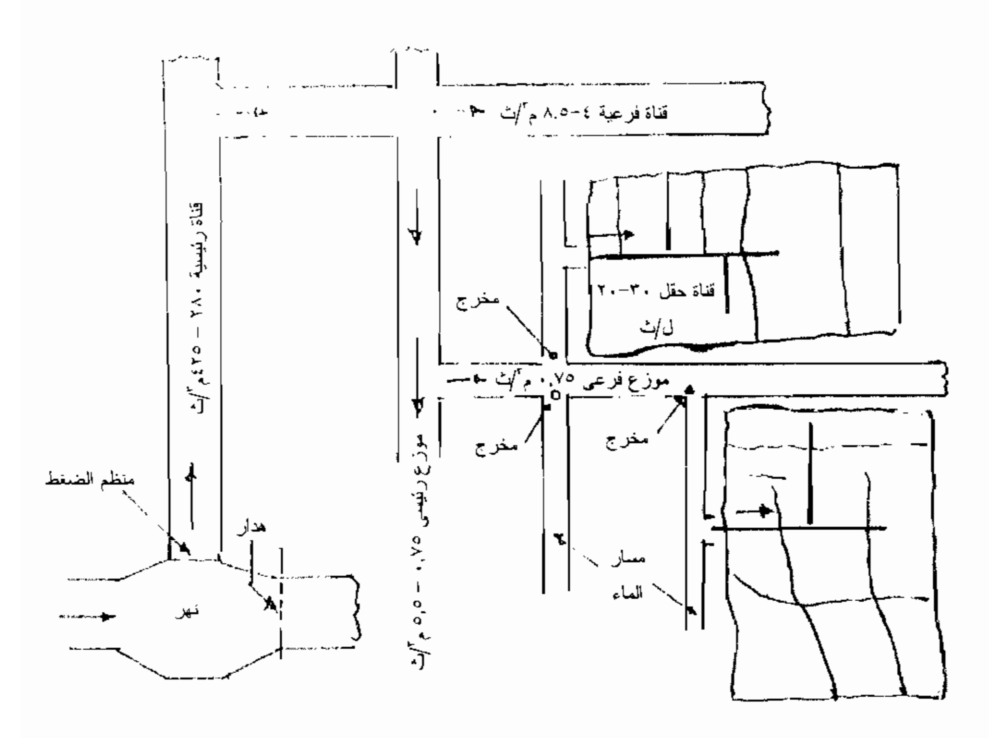
مساهمة المياه الجوفية (Ground water contribution)

مساهمة المياه الجوفية كبيرة من خلال الخاصية الشعرية (Capillarity) إلى منطقة الجذور للمحصول وذلك في حالة أن يكون خط المياه الجوفية عاليًا (أي ضحلاً). مقدار المساهمة يعتمد على عمق خط المياه، مكونات التربة وبنائها وعمق الجذور للمحصول.

فقد المياه في القنوات (Water Losses In Canals)

حيث أن المياه تتدفق من موقع سد تحويل مياه النهر إلى القنوات (Head Work) والتي تشمل القناة الرئيسية والقناة الفرعية والموزعات الصغيرة الكثيرة، قنوات المياه

حتى قنوات حقل المزارع، فإن المياه تعبر مسافة كبيرة شكل (٩/٣). نتيجة لذلك فإنه يتم فقد كمية كبيرة من الماء في هذه الرحلة. من المهم حساب فقد الماء لتصميم ســعة القناة.



شكل (٩/٣) مخطط عام لنظام قناة الرى

فقد الماء في القناة يحدث لسببين رئيسيين هما: البخر، والتــسرب (Evaporation and percolation). من بين هذه يكون. الفقد بالتسرب هو الأعلى والأكثر. الفقــد فـــي قنوات الحقل يصل إلى ٣٠% من إمداد المياه إلى الحقل. الفقد بالبخر يكون أقل نسبيًا، مقدار ٠,٢٥ إلى ١% من الصرف الكلي للقناة.

الفقد بالتبخر:

الفقد بالتبخر في نظام قنوات الري يتوقف على عاملين وهما:

(١) المناخ (٢) مساحة سطح المياه المكشوفة.

عامل المناخ يشمل درجة الحرارة السائدة، الرطوبة، سرعة الرياح. حيث زيادة درجة الحرارة، زيادة سرعة الرياح وانخفاض الرطوبة للمنطقة يزيد من معدل الفقد بالبخر. الاتساع الكبير لسطح الماء حيث العمق الضحل للماء يزيد كذلك من معدل الفقد بالبخر كذلك، ونتيجة لتأثير العوامل السابق ذكرها، قد لا يكون هناك اختلاف كبير في معدل الفقد بالبخر خلال الليل والنهار.

الفقد بالتسرب والارتشاح: (See page loss)

الفقد بالتسرب والارتشاح والذي هو الأهم يتوقف على العوامل الآتية:

أ - مسامية التربة. التسرب يكون عاليًا في التربة الرملية عنه في التربة الطفلية.

ب- موضع خط المياه الجوفية. عندما يكون خط المياه الجوفية قريبًا من مسطح الأرض، فإن مياه التسرب يمكن أن تتدفق مباشرة من مياه القناة إلى خزان المياه الجوفية ولذلك فإن الفقد بالتسرب يزداد.

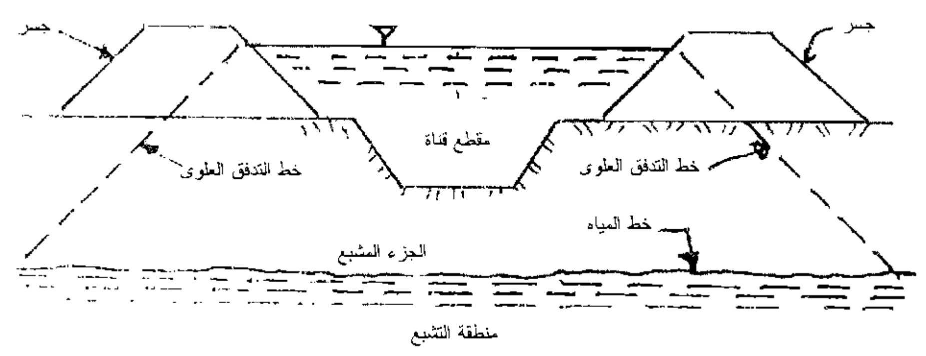
جـ- تبطين نظام القناة: عند تبطين أرضية وأجناب القناة بالمواد المناسبة غير المسامية، فإن الفقد بالتسرب سوف يقل كثيرًا.

د - عكارة مياه القناة: عند احتواء مياه القناة على جسيمات العكارة العالقة، فإن هذه تسبب الانسداد لفجوات ومسام التربة حيث تتم إعاقة مرور مياه التسرب والرشح بما يقلل من الفقد بالتسرب.

من بين العوامل السابقة، فإن موضع خط المياه الجوفية هو الأكثر أهمية. عندما يكون خط المياه الجوفية عاليًا وقريبًا من سطح الأرض الطبيعية، فإن مياه التسرب يكون لها تدفق مباشر ومستمر إلى الخزان الجوفي (منطقة التشبع) نظرًا لأن التربة السفلية تكون آلية التشبع. العملية يمكن تسميتها بالفقد بالتسرب بسبب الارتشاح شكل (٤/٩).

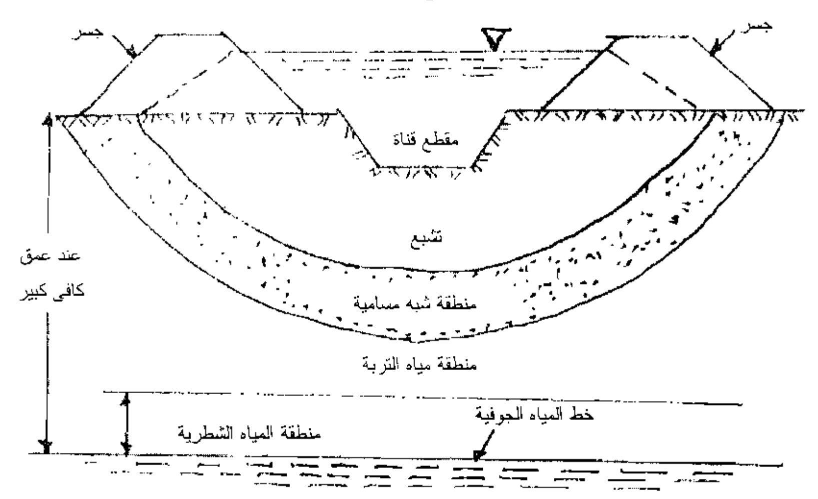
ولكن عندما يكون خط المياه الجوفية منخفضًا وعلى عمق كبير، فإن الماء المتسرب في التربة لا يمكنه التدفق مباشرة إلى خزان المياه الجوفية. أولاً، يتم البلل

للتربة التحتية المحلية أسفل قاع القناة مكوناً ما يسمى البصيلة المشبعة (Saturated Bulb). قد يقابل عندئذ منطقة شبه مسامية قبل عبور مناطق مياه الخاصية الشعرية ثم الوصول إلى خط المياه وإلى الخزان الجوفي. العملية تسمى الفقد بالتسرب بسبب الامتصاص شكل (٩/٥).



شكل (٩/٤) فقد التسرب بسبب الرشح الأرضى

الفقد بالتسرب يعبر عنه عادة بالمتر المكعب في الثانية لكل مليون متر مربع من مساحة سطح الماء المكشوف. عادة يتم استخدام الرقم ٢,٤٤ متر مكعب في الثانية لكل مليون متر مربع عند تصميم قناة الري. مع التبطين، يفترض أن الفقد بالتسرب يكون مابين ٠,١٥ إلى ١,٥ لكل مليون متر مربع.



شكل (٩/٥) الفقد بالتسرب بسبب الامتصاص

طرق المحافظة على المياه (Water saving Methods)

تستخدم عدة طرق لخفض التسرب بالفقد من القنوات. الطرق الرئيسية تشمل تبطين القناة، الري بالرش، الري بالتنقيط. الوصف المختصر لتلك الطرق كالآتي:

١ - تبطين القناة: (Canal Lining)

تبطين القناة يتم لتحقيق الأغراض الآتية:

أ- خفض الفقد بالتسرب. كما سبق الإشارة إليه، فإن ذلك يمكن أن يكون مرتفعًا حتى ٤٥% من إجمالي صرف القناة. مع المحافظة على المياه من هذا الفقد، فإنه يكون من الممكن امتداد الري إلى مساحات أكبر في زمام القناة.

ب- تحسين كفاءة القنوات الموجودة: عند تبطين قاع وأجناب القناة، فإنها تصبح ملساء، مع خفض مقاومة التدفق وبالتالي زيادة سرعة تدفق الماء. لذلك، فإن قدرة الصرف للقناة تزداد.

جـ- الزيادة في مساحة الأرض المخدومة بواسطة القناة: Increase in the Canal Command:

يمكن المحافظة على استمرار السرعة العالية في القناة وذلك بتوفير الميل المناسب والذي يكون أكثر استواء عن الميل للقناة بدون تبطين. الميل المستوي يرفع مستوى الإمداد الكامل للقناة مع نتيجة أنه يمكن توفير الري لرقعة أكبر من الأراضي مع زيادة خدمة القناة.

د - خفض مقطع القناة: سرعة التدفق العالية تمكن كذلك من خفض المقطع، لحمل نفس الكمية من الماء مقارنة بنفس القنوات غير المبطنة.

هـ- تحقيق استقرار إضافي لمقطع القناة: عند تبطين القاع والأجناب للقناة بأنواع من المواد القوية غير المسامية، فإنه يتم حماية مقطع القناة ضد القوى التي تعمل على تغير حالات النظام.

و- منع الإعاقة المائية (Prevent Water Logging) التبطين يساعد في إعاقة هروب مياه التسرب إلى الخزان الجوفي حيث تكون النتيجة أن خط المياه يكون غير قادر على الارتفاع ومسببًا إعاقة للتربة.

ز- ضمان استمرار العمل في القناة: حيث أن نمو الأعشاب يمنع تمامًا في القنوات المبطنة، وترسيب الغرين يكون أقل نسبيًا، فإنه يكون من الممكن ضمان استمرار عمل القنوات بدون التوقف السنوي للصيانة وإزالة الحشائش والذي يقلل من تكاليف الصيانة.

أنواع البطانات الرئيسية (Types of lining)

١- التبطين بالخرسانة الأسمنتية: وهذه تشمل:

- البطانة الخرسانية باستخدام الخرسانة العادية.
- استخدام الخرسانة سابقة التجهيز.
- استخدام ردغة المونة الأسمنتية المضغوطة على انحدارات التربة.
- البطانة بالخرسانة الأسمنتية تكون بسمك ما بين ١٠-١٢,٥ سم.

٢- التبطين بالطوب المبنى بالمونة الأسمنتية بسمك من ١٠-١٥ سم.

٣- البطانة بالبناء الحجري باستخدام الكتل الحجرية والمونة الأسمنتية.

٤- التبطين الأسفلتي: وذلك بنشر البيتومين أو القار أسفل المستوى.

٥- استخدام البطانة من التربة المتاحة، حيث تستخدم التربة والأسمنت والماء لعمل خليط قابل للاستخدام.

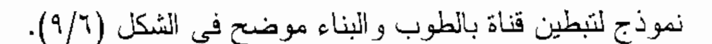
٦- التبطين بمواد التربة (Earth lining).

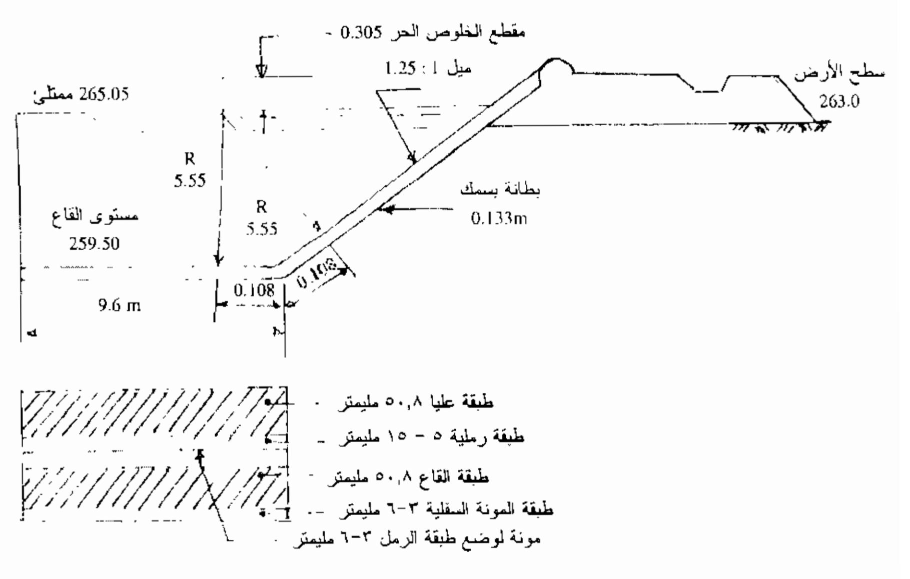
حيث تستخدم الطفلة والماء والتي تشكل طبقة غير مسامية.

٧- البطانة المصنوعة من مواد أخرى مثل الأسفلت الأسمنتي، البنتونايت أو أنواع الطفلة الأخرى، البلاستيك، المطاط المخلق.. إلخ.

تبطين القنوات عملية مكلفة ولذلك فإنها تستخدم على أساس تفضيلي بعد التحليل الاقتصادي الجيد غالبًا في التربة المسامية، وفي القنوات المنبسطة، وفي الامتدادات حيث خط المياه يكون عاليًا.

الخاصية الأساسية للبطانة الجيدة هي إحكام الماء، انخفاض التكلفة، استقرار الإنشاء، الكفاءة الهيدروليكية (أي أن البطانة يجب أن تكون ذات سطح ناعم لضمان الطاقة الكاملة لصرف القناة) والتحمل.


نموذج لتبطين قناة بالطوب والبناء موضح في الشكل (٦/٩).



شكل (٦/٩) نظام التبطين للقناة (مقترح)

الرى بالرش (Sprinkler Irrigation)

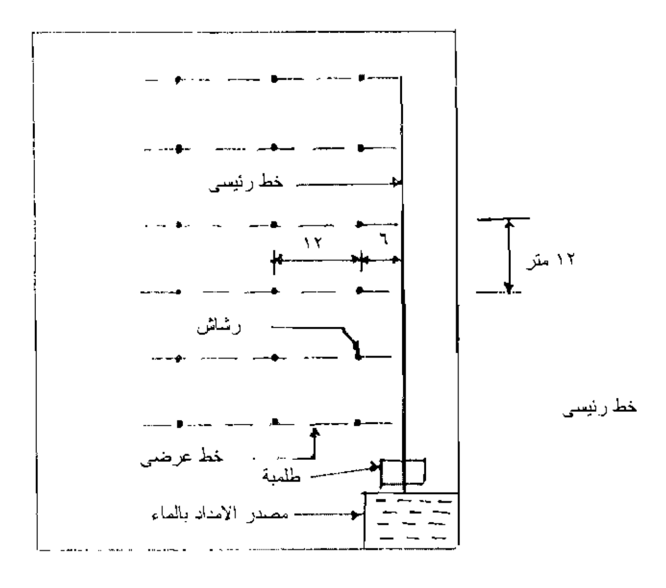
الري بالرش هو طريقة هامة للاستخدام الاقتصادي للمياه على الأرض مع أدنى فقد في المياه. الطريقة التي تحاكي سقوط المطر وتصور استخدام المياه في شكل الرش الساقط بمعدل ثابت بما يناسب معدل الرشح للتربة حيث تتسرب المياه خلال التربة ولا يحدث تدفق سطحي. لذلك فإن المحاصيل يمكن إمدادها بالماء المناسب وفي الوقت المناسب والذي يحقق أفضل إنتاجية محصولية والتي تزيد كثيرًا عن حالة استخدام الري السطحي. طريقة الري بالرش تشمل أساساً ضخ الماء تحت الضغط في رشاشات والتي تشمل الأنابيب المزودة بفتحات ضيقة مثل البزبوز (Nozzles) ومنتظمة على فترات محددة وتنشر الماء فوق التربة في شكل الرش. بضبط الفتحة الضيقة للبزبوز، ضغط الضخ، الفواصل بين الرشاشات فإنه يمكن إمداد المياه بمعدل ثابت ليناسب معدل الرشح للتربة. الشكل (٧) يوضح المخطط العام لنظام الري بالرش. يتم أولاً ضخ المياه في الخط الرئيسي ثم في خطوط الأنابيب العرضية والتي تكون موضوعة بفواصل ١٢ مترًا. النافورات (الفتحات الضيقة) المثبتة على الفرعات العرضية تكون بفواصل ٦-١٢ متر. أقطار الأنابيب للإمداد بالمياه يتم تعيينها بأقصى

معدل تدفق وطول الأنابيب المستخدمة. الأقطار تتراوح من ٢٥ ملليمتر حتى ١٠٠ مليمتر (للقطر الداخلي). مواد الأنبوبة تكون عمومًا من الألمونيوم. طبقًا لضغط الماء، فإن الرشاشات يمكن أن تكون من نوعين. وهما:

نوع الرأس الدوار (Rolating Head) المستخدم لأداء الضغط العالي عمومًا في ٢,٧٥كجرام/سم^{٢} وأكثر.

ونوع الرأس الثابتة (Fixed Head) الذي يستخدم للضغط المنخفض في المجال من ٠,٧٥ – ٢ كجرام/سم^{٢}.

النوع الأخير يستخدم لري الأعشاب، بساتين الفاكهة، حديقة الزينة. قطاع الري بالرش يمكن أن ينشأ أنابيب موضوعة تحت الأرض ولها رشاشات مثبتة على أعمدة حمل (Risers) أو المستخدم أكثر، هو أن النظام قد يكون متحركًا حيث خطوط الرش المحمولة ومجموعة الضخ المحمولة. النوع المحمول هو الأكثر قبولاً حيث يمكن ري مساحات أكبر من الأرض الزراعية حيث بعد تمام الري في الموضع الأول يمكن تحريك المعدة إلى الموضع الثاني في نفس الحقل أو في حقل آخر.



شكل (٩/٧) مخطط لنظام الرى بالرش

الري بالرش يوفر مميزات عديدة مقارنة بالري السطحي التقليدي. وهـذه تـشمل الآتي:

١- الاستخدام الاقتصادى للماء: الماء الذي يمكن توفيره من الري بالرش يمكن أن يصل إلى ٧٠% بما يكفي لري مساحة إضافية بمقدار الضعف من ٢-٣.

٢- الوفر في الأراضي والتي تشغلها القنوات، حيث تصل إلى ١٠%.

٣- الأرض يلزم تسويتها في حالة الري بالجاذبية. الري بالرش يناسب كل حالات طبوغرافية الأرض.

٤- الري بالرش يناسب كل أنواع التربة باستثناء الطفلـة الثقيلـة، وكـل أنـواع الحاصلات باستثناء الأرز وقصب السكر.

٥- يمكن كذلك استخدام الأسمدة خلال الري بالرش. هذا يضمن التوزيـع الكفـؤ لماء الري المخصب بالسماد في التربة مع أدنى فقـد بـسبب الارتـشاح أو الصرف الزائد. نتيجة لذلك فإن إنتاج المحصول يكون عاليًا.

٦- الرش مناسب تحديدًا في الأرض الجافة والمسارات المشابهة التـي يـصعب ريها بسهولة بواسطة قناة الري.

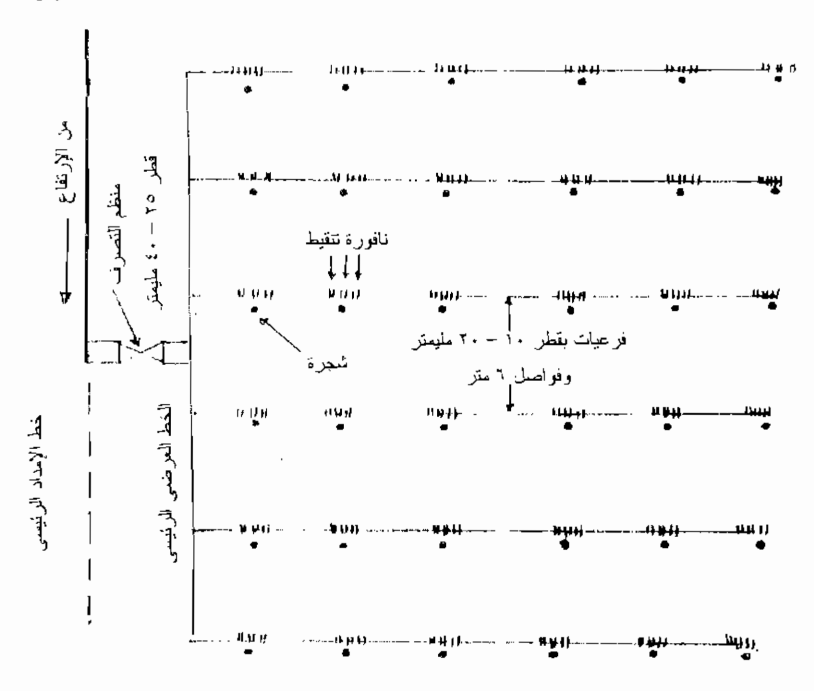
الري بالتنقيط: (Drip Irrigation)

الري بالتنقيط تم استخدامه حديثًا كطريقة للري حيث يتم الإمـداد بالمـاء ليقابـل مباشرة استخدام الاستهلاك للماء بواسطة النبات وذلك بالمحافظة على أدنـى رطوبـة للتربة في منطقة الجذور. الفقد بسبب التسرب والبخر يتم تجنبه وري النبات يتم خلال كميات محددة وموقوتة من المياه. وهذا لا يفيد فقط في تعظيم الوفر في استخدام المياه ولكن يحسن كذلك من إنتاجية المحصول. الطريقة التي بدأ إدخالها في إسـرائيل ثـم تثبيتها بعد ذلك في كثير من الدول مثل استراليا، جنوب أفريقيا، والمكسيك والولايـات المتحدة.

طبقًا لمدلول الاسم، فإن الماء يتم استخدامه في شكل نقاط للماء. يتم ضخ الماء خلال أنابيب مرنة ثم وصوله إلى النبات خلال ثقوب التنقيط (Drip Nozzles).

نظام الري بالتنقيط يشمل: مضخة لرفع الماء – خزان علوي للمحافظة على الضغط المطلوب للري – التصرف المنتظم للتحكم في ضغط وكمية الماء – خطوط رئيسية وعرضية – ثقوب التنقيط (Dripping Nozzles).

الشكل (٩/٨) يبين المخطط العام لنظام الري بالتنقيط. يتم الإمداد بالماء للخط الرئيسي من الخزان العلوي حيث يتم تخزينه بالضخ من مصدر الإمداد بالماء. من الخط الرئيسي يتم توجيهه إلى الخط العرضي الرئيسي (Main lateral) من خلال منظم الصرف ثم إلى التفرع الجانبي (Laterals) أو خطوط الثقوب أو السيولة القليلة (Trickle Line) التي تكون بفواصل ٦ متر عمومًا. كل خطوط الأنابيب تكون مصنوعة من الـ بي في سي. خط الفرع الجانبي الرئيسي يكون بقطر ٢٥ – ٤٠ ملليمتر بينما خطوط التفرعات الجانبية تكون بقطر ١٠–٢٠ ملليمتر. فتحات ثقوب التنقيط تكون مثبتة على خطوط التفرعات الجانبية وتصرف الماء للنبات خلال التربة السفلية. الفواصل بين ثقوب التنقيط يتوقف على نوع المحصول الجاري ريه، مسافة الزرع، نوع التربة والنظم الزراعية. ثقب واحد لكل نبات للبدء بها والعدد يمكن أن يزداد إلى إثنين لكل نبات مع نضج النبات إلى ثلاثة بحيث أن يتم تغطية منطقته الجذرية بكفاءة. حيث تكون مياه الري محتوية على كمية من الملوثات العالقة، فإنه يمكن إنشاء وحدة ترشيح لإزالة تلك الملوثات وذلك لتجنب حدوث الانسداد في فتحات الثقوب الصغيرة. يمكن كذلك استخدام السماد في نفس الوقت بخلطه في مياه الري ويكون عمومًا الخزان العلوي مما يمكن الماء الغني بالسماد من السقوط مباشرة من الثقوب إلى منطقة جذور المحصول.



شكل (٩/٨) مخطط نظام الرى بالتنقيط

الري بالتنقيط يوفر عدد من المميزات:

١-الاقتصاد في استخدام الماء. من خلال تجنب الفقد بالتسرب والرشح والبخر والإمداد بالماء مباشرة لتحقيق الاستخدام الاستهلاكى للماء بواسطة النبات، يوجد وفر صافي بنسبة ١٥-٢٠% من كمية الماء الذي يتم الإمداد به للري.

٢-التجانس في توزيع المياه. بالثقوب التي تصرف نفس كمية الماء على فواصل متساوية، فإن توزيع الماء يكون عالي التجانس وتام التحكم فيه.

٣-كما في حالة الري بالرش، فإن تسوية الأرض ليست ضرورية، حيث الطريقة مناسبة للمسارات عالية الميول.

٤-الري بالتنقيط مناسب للحاصلات – مثل الخضروات والنباتات البستانية حيث يحقق إنتاجية عالية ونوعية منتجات أفضل. وهو مناسب كذلك للتربة عالية النفاذية خاصة التربة الرملية الخشنة.

٥-المياه الغنية بالأسمدة وكيماويات المبيدات يتم تغذيتها مباشرة في منطقة جذور النبات، مع تجنب التسرب العميق في التربة. هذه الطرق تحقق المحافظة الجيدة على الأسمدة والكيماويات الأخرى.

٦- نظرًا لأنه مناطق الجذور للنبات هي التي يتم ريها فقط والمناطق الأخـرى مـن الأرض تظل جافة، فإن نمو الحشائش يكون عند أدناه.

أهمية تنمية الطاقة المائية: Importance of Hydropower Development

من بين المصادر الكبيرة لتوليد الطاقة مثل الطاقة الحراريـة، الطاقـة المائيـة، الطاقة الذرية فإن الطاقة المائية هي الأكثر أهمية، لكونها الأرخص في تكلفة الطاقة.

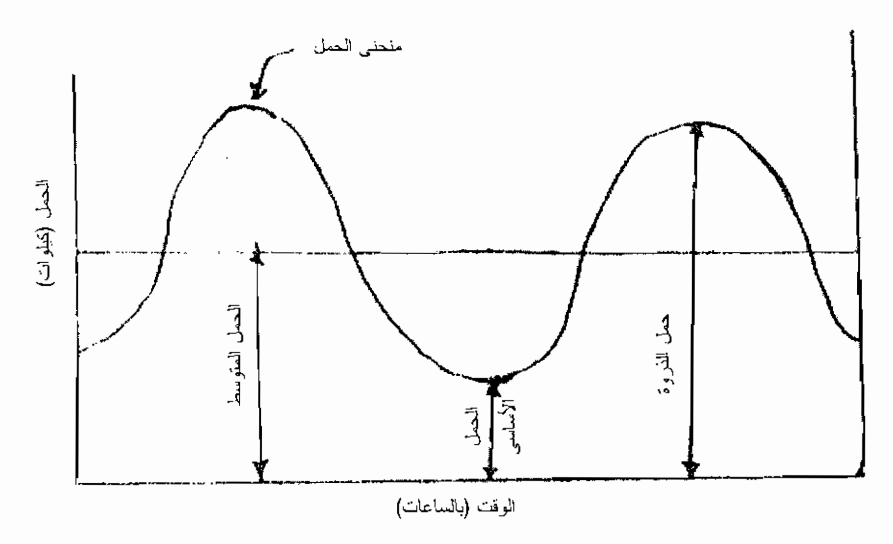
السلبية الرئيسية لاستخدام الطاقة المائية هي أن كمية المياه المؤكدة خلال العام قد تكون غير متاحة في الأماكن حيث النقص فى سقوط الأمطار حيث الخزانات لا يـتم امتلائها بسهولة. ولكن بسبب التطوير فى الضخ للتخزين، حيث يمكن تفادي النـدرة. ففي ساعات الذروة يستخدم الماء في توليد الطاقة، نفس الماء يمكن ضخه ثانيًـا نحـو التخزين في اتجاه المنبع خلال الساعات التى يكون الطلب على الكهرباء ضـعيفًا مـع وفرة الطاقة المتاحة. قبل مناقشة محطات الطاقة المائيـة سـوف نبـدأ أولاً مناقـشة المصطلحات الأساسية المستخدمة في الطاقة المائية.

المصطلحات الأساسية للطاقة:

الحمل الأساسي، وحمل الذروة: (Base Load, Peak Load) في محطات الطاقـة المائية لا يمكن التخزين الاقتصادى للطاقة على مستوى كبير. يتوقف توليـد الطاقـة على الاستخدام الكهربي أو الطلب على الطاقة والذي يتغير مع الوقت خلال مختلـف ساعات اليوم).

الحمل الأساسى:

هو الطاقة المطلوبة للإمداد بها باستمرار فى معظم الأوقات التى تستوجب تشغيل المولدات الكهربية. إطار التغير فى الطاقة أو الحمل مع الوقت يسمى منحنى الحمـل شكل (٩).



شكل (٩/٩) مخطط لمنحنى الحمل

من منحنى الحمل يمكن ملاحظة أنه عند ساعة معينة من اليوم، يكون الطلب أو الحاجة إلى الطاقة عند أقصاها أو قيمة الذروة. حمل الذروة يعرف عمومًا بأنه ذلك الحمل الذي يحمل عند معدل يزيد عن $1\frac{1}{3}$ ضعف الحمل المتوسط بما يمكن من إمداد فترات الجزء المتقلب وغير المستقر من الحمل أو متطلبات الطاقة. متوسط الحمل يؤخذ كمتوسط الحمل للفترة المدروسة.

معامل الحمل (Load Factor)

معامل الحمل هو نسبة متوسط الحمل إلى حمل الذروة خلال فترة معينة. التطابق مع طريقة تغيير الحمل، فإن معامل الحمل يمكن حسابه يوميًا، أسبوعيًا، شهريًا أو سنويًا. حيث أن المساحة تحت منحنى الحمل تمثل الطاقة المستهلكة بالكيلوات ساعة، فإن معامل الحمل يمكن كذلك تعريفه بنسبة الطاقة المستخدمة إلى طلب الذروة، إذا افترض الاستمرار لمدة ٢٤ ساعة في اليوم.

$$\text{معامل الحمل} = \frac{\text{الطاقة المستهلكة في ٢٤ ساعة}}{\text{طلب الذروة أو الحمل} \times \text{٢٤ ساعة}}$$

يجب الإشارة إلى أنه بينما حمل الذروة يعين الطاقة لوحدات التوليد، فإن معامل الطاقة يعطي فكرة عن درجة الاستخدام لتلك الطاقة. لذلك، فإن معامل الحمل بنسبة ٦٠% سوف يعني أن المولدات الكهربية تنتج فقط ٦٠% من أقصى طاقة إنتاجية لها.

معامل الضرورة الإنتاجية (Capacity Factor)

كذلك يسمى معامل محطة التوليد (Plant Factor)، معامل القدرة الإنتاجية هو مقياس لاستخدام محطة التوليد. وهو يعرف بنسبة متوسط الحمل إلى الطاقة الإنتاجية المنشأة للمحطة فمثلاً، محطة طاقة بطاقة إنتاجية أساسية ٥٠٠٠٠ كيلووات ساعة ومنتجة خرج مقداره ٤,٥ × ١٠^٦ كيلووات ساعة عند العمل لمدة ١٥٠ ساعة فيكون لها معامل قدره إنتاجية = $\frac{٤,٥ \times ١٠^{٦}}{٥٠٠٠٠ \times ١٥٠}$ = ٠,٦

إذا كانت المحطة تعمل بحيث أن حمل الذروة يصبح مساويًا إلى القدرة الإنتاجية الأساسية للمحطة، فإن معامل الحمل يكون مساويًا لمعامل القدرة الإنتاجية.

معامل الاستخدام (Utilization Factor)

معامل الاستخدام هي مقياس الاستخدام للمحطة الذي يتأثر بالإمداد بالمياه. تحديدًا، هو كذلك نسبة كمية الماء المستخدمة حقيقة لتوليد الطاقة إلى تلك المتاحة من المصدر. عندما يكون هناك الماء الكافي لتشغيل المحطة عند القدرة الإنتاجية، فإن معامل الاستخدام يساوي هو نفسه معامل القدرة الإنتاجية. ولكن، طبقًا للعجز في الإمداد بالماء، فإن خرج الإنتاج قد ينخفض، الذي يمكن أن ينقص أو يزيد معامل الاستخدام طبقًا لمعامل حمل المحطة. علميًا يمكن أن يتغير من ٠,٤ إلى ٠,٩.

أقصى ضغط، الضغط الصافي: Gross Head, Net Head

الضغط الكلي في المحطة المائية هو الفرق الإجمالي في الارتفاع بين أقصى سطح في الخزان عند السد ومستوى الماء في النهر حيث يكون مكان التسرب السفلي (لتصريف الماء من محطة التوليد بالماء – Tail Race). صافي الضغط (Net Head) (يسمى كذلك الضغط المؤثر) هو الضغط المتاح لإنتاج الطاقة بعد طرح الفقد

بالاحتكاك، الدخول، ضغط السرعة الذي لا يتم استعادته في أنبـوب الـسحب (Draft Tube).

قوة محركة ثابتة، قوة محركة ثنائية: Firm Power Secondary Power

القوة المحركة الثابتة (التي تسمى كذلك القوة المحركة الأولية) هي أقصى معـدل سنوي يمكن من توليد الطاقة من محطة الطاقة المائية بدون توقف. هذه قوة محركـة مستقلة تمامًا وتقابل أدنى تدفق للتيار المتاح في كل الأوقات لذلك فإن القوة المحركـة الثابتة تكون متاحة للمستهلكين خلال الـ ٢٤ ساعة من اليوم. القوة المحركة الثنائيـة هي القوة المحركة الزائدة أو غير الثابتة والتي تكون متاحة بشكل متقطع في سـاعات الذروة. استخدامها يكون أساسًا لتخفيف الحمل على محطات إنتاج الطاقة التي تعمـل باستمرار في نظام شبكة الربط الموحد وبذا تحقق بعض الاقتصاد والكفاءة للنظام.

التخزين، والتخزين قصير المدى: (Storage, Pondage)

التخزين يعني به السعة التخزينية في حالة خزانات التخزين. الـسعة التخزينيـة للخزان تتحدد بطريقة منحنى الكتلة (Mass curve) (الفصل ٥) طبقًا للتـدفق الـداخل للنهر وما يقابله من الطلب على الطاقة. هذا يمكن من تعيـين التخـزين الـضروري للمحافظة ليس فقط على الإمداد بالماء لمحطة الطاقة المائية عندما يكون التدفق الداخل إلى النهر زائدًا عن الطلب، ولكن كذلك للمحافظة على استمرار التـدفقات فـي سـنة الجفاف التي تلي السنة العادية لسقوط الأمطار.

التخزين قصير المدى (Pondage) يستخدم في حالة محطات الطاقة لقناة التحويـل والبرك، الخزانات الموازية(Balancing Reservoirs) والأحوزة الأماميـة (Fore bays) لإمداد التقلبات لضمان التدفق الثابت والمنتظم للتربينات تحت اختلاف ظروف الحمل. تلك التقلبات تحدث بسبب التغيرات المفاجئة أما في طلب الحمل على التربينات أو في التدفقات الداخلة الطبيعية في العام . في الحالة الأولى، قد يكون هناك زيادة مفاجئة في الحمل على التربينات والذي يستلزم الزيادة الفورية في التدفقات الداخلة إلى التربينـات التي يمكن تحقيقها بمخزون الماء المتاح في البركة التي تم إنشائها لهذا الغـرض فـي

الحالة الثانية، الزيادة في التدفقات الطبيعية يمكن تخزينها مؤقتًا كتخزين مؤقت وذلك لتلبية متطلبات الماء الزائد في حالة ذروة الحمل (Peak load). مع أخذ الفترة الزمنية فى الاعتبار، فإن التخزين المؤقت يمكن أن يكون تخزين يومي لتسوية التغيرات اليومية في التدفقات أو تخزين أسبوعي لتلبية الطلبات الأسبوعية. وفي كثير من الدول المتقدمة، ذات الأجازات في نهاية الأسبوع حيث يقل الطلب على الماء والذي يمكن تخزينه للاستخدام خلال أيام الأسبوع.

معامل التخزين القصير: (Pondage Factor)

معامل التخزين القصير هو النسبة ما بين إجمالي ساعات التدفق الداخل (In flow) في فترة زمنية معينة إلى إجمالي عدد الساعات لمحطة الطاقة التي تعمل خلال نفس الفترة الزمنية. فمثلا محطة الطاقة التى تعمل كمحطة حمل الذروة لمدة ٨ ساعات في اليوم يكون لها معامل تخزين قصير $\frac{٢٤}{٨}$ = ٣. إذا كانت هذه المحطة تعمل كمحطة حمل الذروة (Peak load plant) لمدة ٦ أيام في الأسبوع، عندئذ فإن معامل التخزين القصير سوف يكون $\frac{٧}{٦}$ × ٣ = ٣,٥. معامل التخزين القصير هو مؤشر تقريبي للتخزين المؤقت اللازم خلال أوقات عدم استخدام الذروة في تشغيل محطة الطاقة.

أنواع محطات الطاقة الكهربائية المائية:

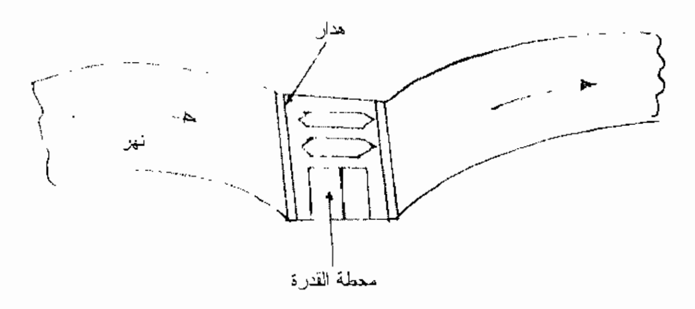
Types of Hydro Electric Power Plants:

طبقًا للظواهر الطبوغرافية، والهيدرولوجية ونظام التشغيل، فإن محطات الطاقة المائية يمكن أن تنقسم إلى:

- محطات النهر الجاري (Run – of – River Plants)
- محطات طاقة السد: Dam Power Plant
- محطات قناة التحويل: Diversion Canal Plants
- محطات التحويل بين أحواض الأنهار (Interbasin Diversion Plants)
- محطات المد (Tidal Plants)
- محطات التخزين بالضخ (Pumped Storage Plants)

محطات النهر الجاري:

هذه المحطة توضع عبر تدفق النهر بالطريقة التي لا تغير من نظام النهر شكل (٩/١٠). محطة الطاقة توضع مع هدار بعرض المجرى والتي تخدم كذلك في تنظيم تدفق النهر. نظرًا لعدم تصور خزانات ضخمة، فإن تلك المحطات لها برك أو أحواض صغيرة لتوفير التخزين المؤقت الضروري لتسوية التغيرات اليومية. وهي أساساً منشأة ذو ضغط منخفض.

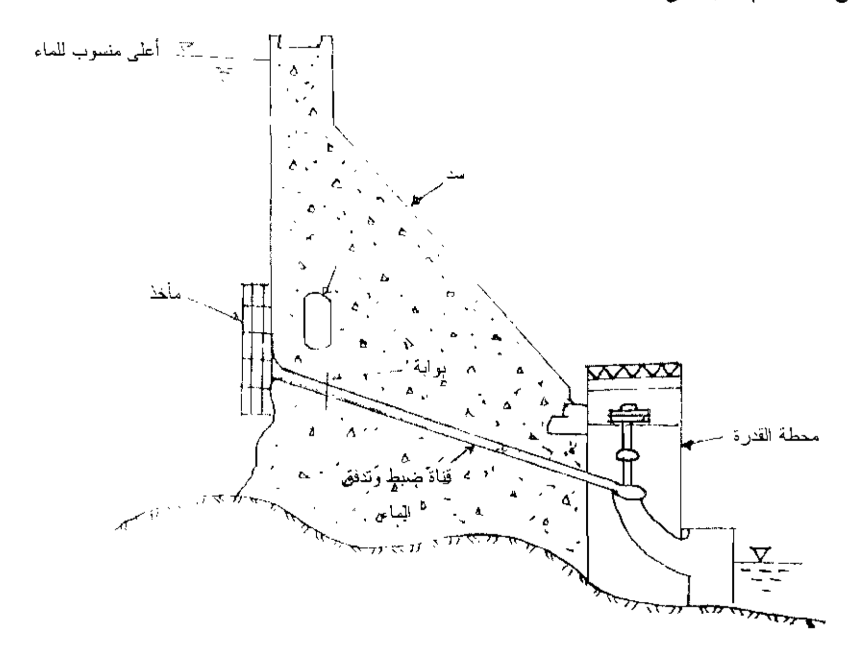


شكل (٩/١٠) محطة الطاقة لنهر جارى

محطات النهر الجارى تتطلب كمية مناسبة وثابته من التدفق، ميول مستوية نسبياً، ونظم ثابتة للنهر.

محطات طاقة السد: Dam Power Plants

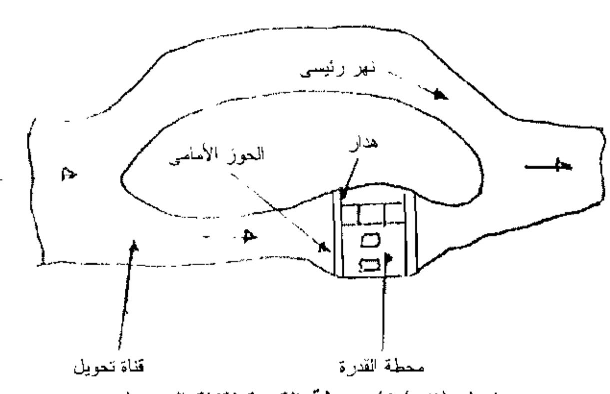
محطة طاقة السد تتصور إنشاء سد فى النهر لخلق خزان وتوفير الضغط اللازم لإنتاج الطاقة. محطة الطاقة توضع عند طرف السد فى إتجاه المصب شكل (٩/١١) المياه تتدفق خلال قناة ضبط جريان الماء (بربخ Penstock) المنشأ فى السد ويرسل الماء من الخزان إلى التربين. بعد توليد الطاقة، الماء يترك المحطة ليتصل بمجرى النهر الرئيسى. محطات طاقة السد تكون ذات ضغط ما بين المتوسط والعالى.



شكل (٩/١١) محطة الطاقة فى السد

محطات قناة التحويل:

في هذه المحطات يتم تحويل الماء من النهر خلال قناه إلى غرفة الطاقة و التي تسمى كذلك (Power House or power canal) التي توضع بعيدًا عن قناة التحويل شكل (٩/١٢). بعد التدفق خلال غرفة محطة الطاقة يتم صرف الماء إلى المصب الرئيسي للنهر. لتحقيق متطلبات التخزين المؤقت (Pondge) فإنه يتم إنشاء حوض يسمى الحوز الأمامي (Forebay) قبل غرفة الطاقة مباشرة.

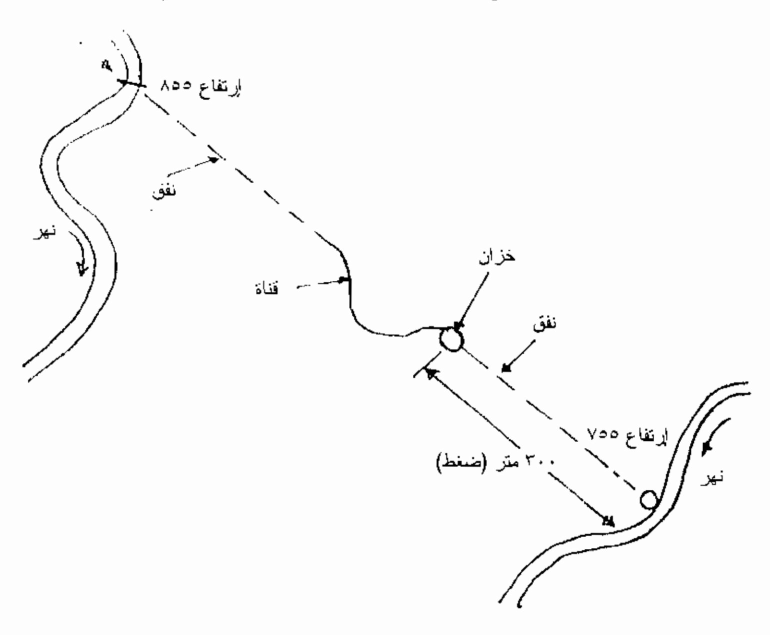


شكل (٩/١٢) محطة القدرة لقناة التحويل

محطة قناة التحويل هي تدفق للضغوط المتوسطة. تنمية وزيادة الـضغط يمكـن تحقيقه بسبب استواء ميول القاع لقناة محطة الطاقة مقارنة بتلك للنهر الذي له منعطف أطول، للتغطية أحياناً يكون للنهر سقوط طبيعي بما يوفر الضغط الضروري لمحطات قناة التحويل.

محطات الطاقة بالتحويل بين الأنهار: (Inter Basin Diversion plants)

في تلك المحطات يتم تحويل الماء من حوض نهر إلى حوض نهر آخر إلى مكان حيث المستوى المنخفض بما يعطي ضغوط عالية، أحد الأمثلة في الشكل (٩/١٣).

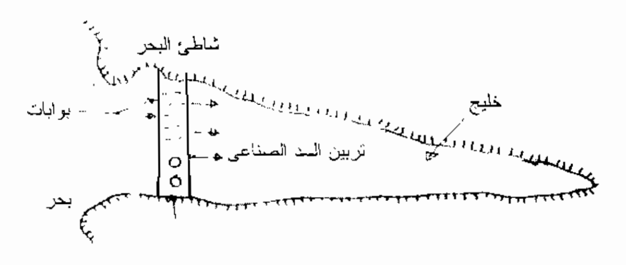


شكل (٩/١٣) التحويل من حوض نهر إلى آخر عند مستوى منخفض

محطات طاقة المد (Tidal power plants)

هذه المحطات تستخدم طاقة المد لمياه البحر. محطة المد الشكل (٩/١٤) تـشمل سد صناعي على النهر (Barrage) الذي يغلق فم الخليج لخلق خزان. على أحد أجناب السد، توجد بوابات لدخول الماء خلال فيضان المد. على الجانب الآخر في جسم الـسد الصناعي تقام التربينات والمولدات لإنتاج الطاقة الكهربية خلال انحسار المـد (Ebb

(Tide. المد يمكن أن يصل إلى ارتفاع ١٥ متر، ويستفاد بارتفاع وسقوط الماء في توليد الطاقة الكهربائية المائية. محطة لارانس في فرنسا بطاقة ٢٤٠ ميجاوات هي مثال لمحطة الطاقة بالمد.



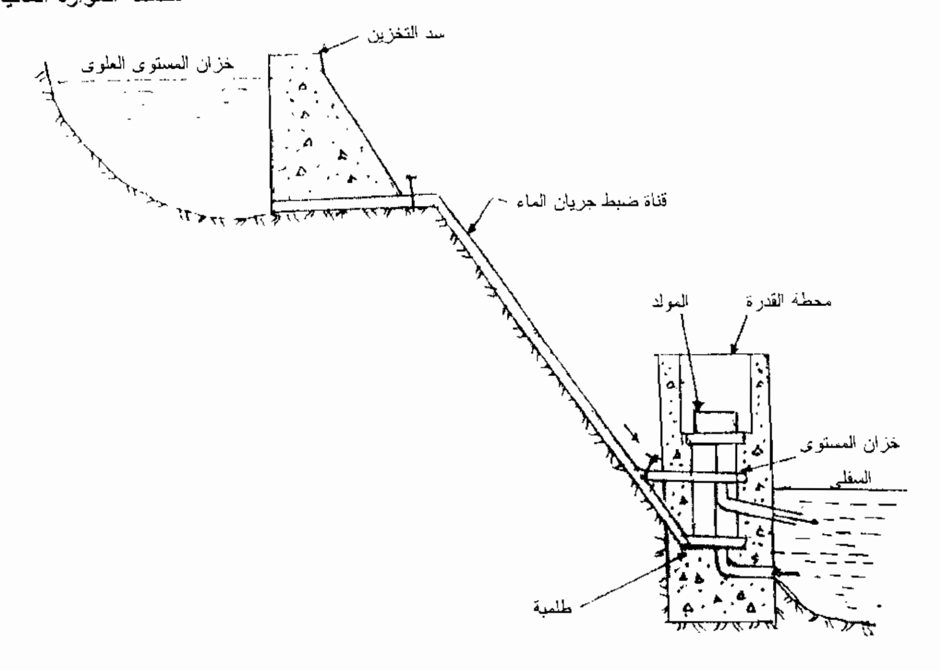
شكل (٩/١٤) محطة الطاقة بالمد

محطات التخزين بالضخ:

محطات التخزين بالضخ هي الطريقة الأقرب نحو التخزين الكبير للطاقة الكهربية. وهذه تستخدم مبدأ استغلال الطاقة الكهربية الزائدة في غير ساعات الذروة في ضخ كمية ضخمة من الماء إلى خزان حفظ عند مستوى عالي، والذي يعود عندئذ لتوليد الطاقة في فترات ذروة الأحمال. وهذا يضمن الاتزان الجيد للحمل على نظام التوزيع. بجانب أنه في حالة التدوير لنفس الماء ثانيًا وهكذا، فإنه يمكن العمل بهذا النظام باستخدام كمية محدودة من الماء والذي يعني أقصى استفادة باستخدام المياه في حالة ندرة المصادر المائية.

المحطة شكل (٩/١٥) تشمل أساسًا سد التخزين بخزان عالي المستوى ومحطة طاقة وخزان المستوى المنخفض. محطة الطاقة مزودة بتربين عكسي (Reversible Turbine) للعمل كمضخة أو تربين طبقًا لاتجاه الدوران. الماء يمر من خزان المستوى المرتفع إلى غرفة محطة الطاقة خلال قناة ضبط جريان الماء (Penstock) ومن غرفة محطة الطاقة إلى خزان المستوى السفلي ويتحرك في أي من الاتجاهين طبقًا لحالة الاستخدام إما لتوليد الطاقة أو للضخ.

هذا النوع من المحطات يكون من المفضل له الاشتراك مع محطات طاقة أخرى مثل محطات الطاقة الحرارية أو الطاقة النووية حيث يمكن بسهولة التقسيم لأخذ الحمل الأساسي للمحطة الأساسية والتخزين لساعات الذروة.



شكل (٩/١٥) محطة الضخ للتخزين

حسابات الطاقة المائية *(Hydro power calculations)*

الطاقة النظرية المتاحة من سقوط الماء يمكن حسابها باستخدام العلاقات الآتية:

معدل الشغل المستخدم (Rate of Work Done) = WQH Kgm/s

$$P_1 = \frac{WQH}{75}$$

حيث:

P_1 = Theoretical Output In Metric HP

أى:

P_1 = تساوى الخرج النظرى مقدر بـــ HP مترى (حصان مترى)

W = وحدة الوزن للماء = ١٠٠٠ كجرام / المتر المكعب

Q = كمية الماء المتاح لتوليد الطاقة المائية أو التدفق خلال التربين بالمتر المكعب فى الثانية

H = الضغط المتاح (الإرتفاع) بالمتر

حيث أن كلا من المولد والتربين متصلين معا بعمود إدارة واحـد، فـإن الطاقـة المائية المتاحة تكون كالآتى:

الخرج أو المقدرة الفعلية المؤثرة (Effective Output) =

القدرة الفعلية النظرية × الكفاءة الكلية

أو $P_e = P_t \times \eta_0$

$$= \frac{1000\ QH}{75} \times \eta_0$$

$$= 13.33\ QH\eta_0$$

حيث أن واحد حصان متري (Imetric HP) = ٠,٧٣٥٥ كيلوات

∴ طاقة الحصاد المتاحة = P_e

$= 0.7355\ QH\,\eta_0 \times 13.33$

$= 9.8\ QH\,\eta_0\ KW$

مثال:

المولدات التربينية ذات قدرة ٥٠٠٠٠ كيلوات، تغير الحمل هو ما بـين ١٠٠٠٠- كيلو عند الأدنى إلى ٤٠٠٠٠ كيلوات عند الأقصى يتم تعيين الآتي:

أ – معامل الحمل: Load Factor

ب– معامل السعة: Capacity Factor

جـ– عامل الاستخدام: Utilization Factor

الحل:

متوسط الحمل = $\frac{١٠٠٠٠ + ٤٠٠٠٠}{٢}$ = ٢٥٠٠٠ كيلوات

معامل الحمل = $\frac{\text{متوسط الحمل}}{\text{أقصى حمل}} = \frac{٢٥٠٠٠}{٤٠٠٠٠}$ = ٦٢,٥%

$$\text{معامل السعة} = \frac{\text{متوسط الحمل}}{\text{السعة المقامة}}$$

$$= \frac{٢٥٠٠٠}{٥٠٠٠٠} = ٥٠\%$$

$$\text{معامل الاستخدام} = \frac{\text{الطاقة المستخدمة}}{\text{الطاقة المتاحة}}$$

$$= \frac{٤٠٠٠٠}{٥٠٠٠٠} = ٨٠\%$$

مثال:

يتم تقدير السعة المشيدة ومقدار الحجز المؤقت لمحطة طاقة مائيـــة علـــى نهـــر جاري وله البيانات الآتية:

التدفق اليومي للنهر = ٢٤ متر مكعب في الثانية

صافي الارتفاع على المحطة = ١٢ متر

كفاءة المحطة = ٧٥%

المحطة تعمل ستة أيام في الأسبوع.

الحل:

$$\text{متوسط التدفق الداخل إلى المحطة} = \frac{٢٤ \times ٧}{٦}$$

= ٢٨ متر مكعب في الثانية

السعة المشيدة للمحطة طبقًا للمعادلة:

$$P_e = 13.33\, Qh\eta_o$$

$$= ١٣,٣٣ \times ٢٨ \times ١٢ \times \frac{٧٥}{١٠٠}$$

= ٣٣٥٩ حصان

التخزين المؤقت لتخزين يوم واحد تدفق.

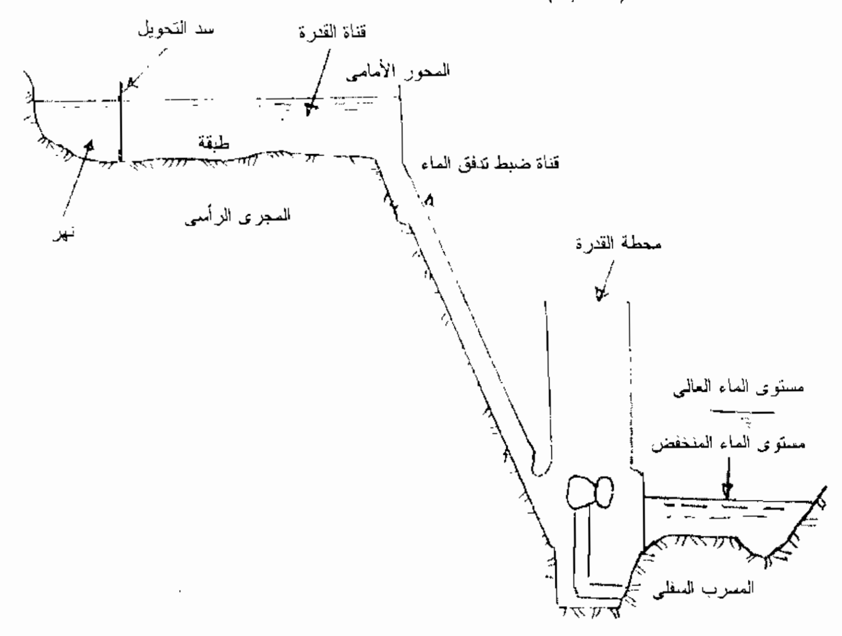
$$= ٢٤ \times ٣٦٠٠ \times ٢٤$$

$= ٢,٠٧ \times ١٠^{٦}$ متر مكعب

= ٢ مليون متر مكعب.

مكونات محطات الطاقة المائية: (Components of Hydropower plants)

المحطة بالطاقة المائية لتوليد الكهرباء تتكون عمومًا من بعض أو من كل المكونات الآتية: الشكل (٩/١٦).



شكل (٩/١٦) مكونات محطة الطاقة المائية

أ – المجرى الصاعد:

(مجرى الماء الرأسي نحو آلة تدار هيدروليكيا) Head Race، قناة المأخذ (In take conduits)

هذه تصل الخزان أو الحوز الأمامي (Fore by) مع غرفة محطة الطاقة. تلك يمكن أن تكون في شكل قناة مكشوفة أو أنبوبة ضغط، طبقًا لحالات الموقع. قناة أو أنبوبة الضغط قد تكون قناة لضبط جريان الماء (Penstock) أي أنبوبة طويلة من الصلب أو الخرسانة لمرور المآخذ الموسع (Flared) في جسم السد أو النفق بطول عدة كيلومترات قليلة. مجرى أو ماسورة الضغط لا تتبع الكنتورات الأرضية وسرعة الماء تكون عمومًا أعلى (٢,٥ إلى ٣ متر في الثانية) عن حالة القناة المكشوفة، أحيانًا قد يكون من المفضل استخدام القناة المكشوفة جزئيًا أو كليا كقناة

رئيسية. الميزة الرئيسية للقناة المكشوفة هو أنه يمكن استخدامها للري أو للملاحة كذلك.

قناة ضبط جريان الماء (Penstock) عبارة عن أنابيب بقطر كبير مصنوعة من الخرسانة المسلحة أو الصلب ولها مآخذ في الحوز الأمامي (Fore bay) أو الخزان. من المهم حجز الارتفاع العالي للماء فوق قناة ضبط الجريان بحيث أن الهواء لا يمكن أن يدخل قناة ضبط الجريان الذي يكون دوامة كبيرة (whirlpool) ويقلل من خروج الماء. عمومًا يوجد أنبوبة تصريف للهواء على قناة ضبط الجريان اللازم لدخول الهواء في قناة ضبط الجريان عندما تكون بوابات الضغط (Head Gates) مغلقة والماء يتم سحبه بواسطة التربينات.

ب- الحوز الأمامي(Forebay):

الحوز الأمامي هو أساسًا خزان حفظ يتم تجهيزه عند رأس مجرى المآخذ أو الحوز الأمامي الذي يغذي التربينات بالماء. في حالة عدم الحاجة إلى الحمل بواسطة التربينات، فإذا الماء يتم تخزينه مؤقتًا في الحوز الأمامي ومع زيادة الحمل، يتم سحب الماء من الحوز الأمامي. لذلك، فإن الأحوزة الأمامية تعمل كخزان ناتج.

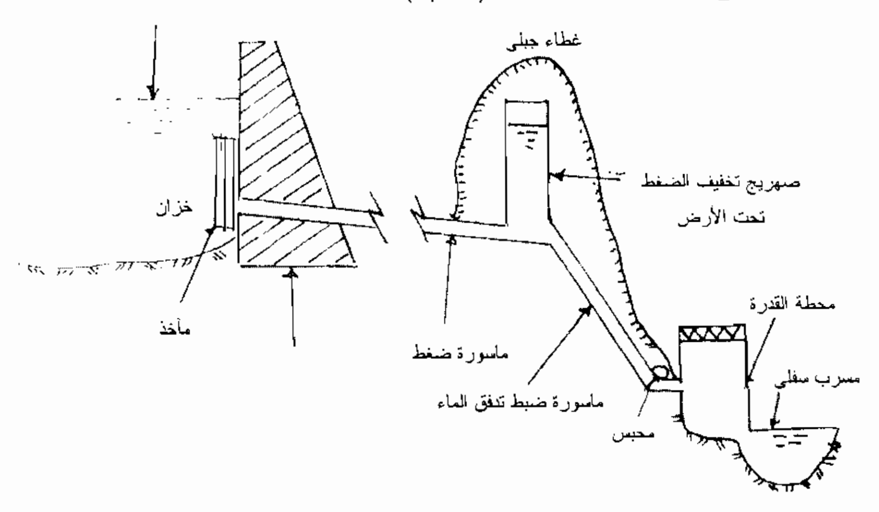
عند وضع غرفة محطة الطاقة عند قاعدة السد فإن الخزان يشكل الحوز الأمامي. فمثلاً، في سد هوفر في الولايات المتحدة حيث غرفة محطة الطاقة (Power House) يكون عند طرف قناة الطاقة (power canal)، فإن الحوز الأمامي يتم إيجاده بتوسيع القناة في شكل حوض صغير لتخزين الماء لاحتياجات الطاقة المفاجئة. هذا يمكن أن يسمى خزان الموازنة Balancing Reservoir – شكل (١٣). أحيانًا يمكن إقامة الحوز الأمامي بإنشاء سد صغير عبر المجرى الطبيعي. مع إقامة السد، فإن سعة الحوز الأمامي تزداد كثيرًا.

صهريج منع الاندفاع المفاجئ في الضغط: (Surge Tank)

صهريج منع الاندفاع المفاجئ في الضغط من التجهيزات العادية في محطات توليد الطاقة بالضغط (الارتفاع) العالي حيث يتم أخذ الماء إلى غرفة الطاقة خلال

أنابيب ضغط أو أنفاق وأحوزة أمامية. وهو لا يعتبر ضروري فـــي حالـــة محطـــات الضغط (الارتفاع) المتوسط لمحطات النهر الجاري، محطات الطاقة بالسد، ومحطـــات قنوات التحويل.

صهريج منع الإرتفاع المفاجئ فى الضغط هو أساسا صهريج ضغط ينشأ ما بين الخزان وأنبوبة الضغط على أحد الأجناب وغرفة الطاقة وقناة ضبط جريـــان المـــاء (Penstock) على الجانب الآخر شكل (٩/١٧).



شكل (٩/١٧) إنشاء صهريج تخفيف الضغط

وظيفة ذلك الصهريج هو التحكم في تغيرات الضغط الناتج من سرعة التغيـــرات في تدفق خط الأنابيب، وبذا عدم حدوث المطرقة المائية وتأثيراتهـــا وكـــذلك تنظـــيم الإنتاج للطاقة بتوفير ضغط الإسراع الضروري . (Accelerating Head) عندما يكون هناك خفض مفاجئ في الحمل على التربين، فإن المسئول عن التربين يقـــوم بـــضبط تدفق الماء للمحافظة على ثبات سرعة التربين. لذلك، فإن بوابات التربين يـــتم قفلهـــا بحيث يتم إيقاف الماء المتحرك ودفعه إلى الخلف. كتلة الماء المتحركة يتم إســـراعها فجأة بما يسبب حدوث ضغوط المطرقة المائيـــة (Water Hammer). صـــهريج منـــع حدوث هذا الاضطراب يعمل كمستقبل لتخزين الماء المنظم بذا خفض سرعة التـــدفق في الحوز الأمامي وبذا يمكن تجنب حدوث المطرقة المائية. كما في حالة زيادة الحمل على التربينات فإن القائم بالتشغيل والتحكم (Governor) يعيد فتح البوابات بنسبة زيادة

الحمل بما يزيد من تدفق المياه في التربينات وضغط تباطؤ السرعة (Decelerated Head) التي سبق تكوينه في الصهريج يكون كافيًا لتوفير الحاجة لزيادة التدفق. عمومًا يوضح صهريج منع الاضطراب هذا قريبًا التربين لتوفير الزيادة المفاجئة في الطلب على الماء لحين وصول السرعة، في الجزء العلوي لأنبوب (مجرى) الضغط إلى قيمة جديدة تقابل التدفق الزائد. لخفض ارتفاع الصهريج فإن الوضع يكون عادة عند الاتصال لمجرى (أنبوبة) الضغط وقناة ضبط تدفق الماء (penstock) مع التغطية بجزء من التل أو جبل.

محطة توليد القدرة (Power Hose)

الغرض الرئيسي من محطة توليد القدرة هو لدعم ومساندة المعدات الهيدروليكية ومعدلات توليد الطاقة. قد يكون لها شكل العمود الرأسي أو العمود الأفقي. محطة توليد الطاقة ذات الشكل العمودي (vertical) تتكون من ثلاث أجزاء وهي: المنشأ السفلي (Substructure) والمنشأ المتوسط (Intermediate structure) والمنشأ العلوي (super structure) في حالة محطة توليد القدرة ذات العمود الأفقي (Horizontal shaft)، فإن المنشأ المتوسط يكون غير موجود حيث التربين والمولد يكونوا في مباني متجاورة عند نفس المستوى.

المنشأ السفلي:

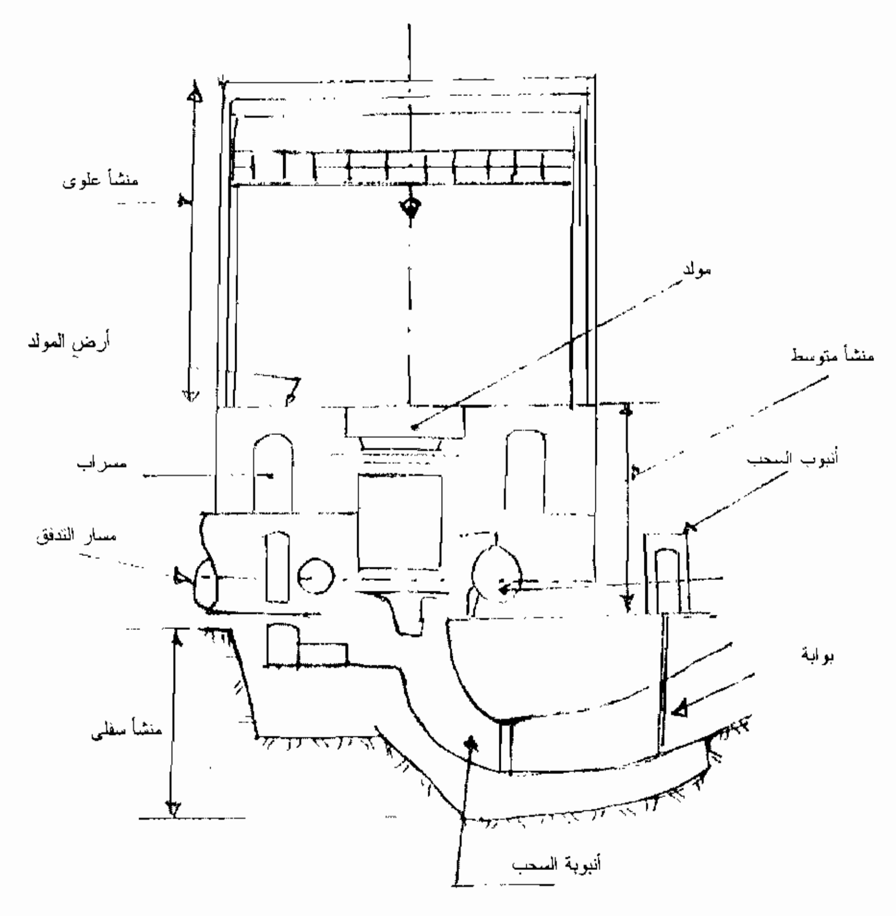
المنشأ السفلي لمحطة توليد القدرة هو ذلك الجزء الذي يكون أسفل مستوى التربين شكل (١٨) وعمومًا يوضع أسفل مستوى الأرض. وهذا يشمل أنبوب السحب (Draft Tube) ، قناة المسرب السفلي (لتسريب الماء من تدوير التربين –Tail Race، بالوعة صرف المياه العادمة (waste water Drains).دهليز الصرف والطلاء الأسمنتي (Drainage and Grout Galleries) نظرًا لأن المنشأ السفلي يقوم بنقل حمل المنشأ العلوي والمنشأ المتوسط إلى الأساس السفلي، فإنه يكون من الضروري أن تكون مادة الأساس قوية. إذا كانت التربة صخرية عند عمق متوسط، فإن المنشأ السفلي يمكن أن يحمل عليها وإذا كانت التربة ترابية،فإن قدرة التحميل للتربة ستكون كافية لحمل الحمل الراكب أو المضاف (Superincumbent load). المنشأ السفلي يكون عادة من كتلة ضخمة من الخرسانة الأسمنتية المسلحة والمنشأ يزود بطابق سفلي (Basement Flow) لاحتواء الوحدات المختلفة بشكل جيد.

المنشأ المتوسط (Intermediate structure)

المنشأ المتوسط يأتي فوق المنشأ السفلي من أعل أنبوب السحب إلى أعلى أساس المولد (شكل ٩/١٨). هذا يحتوي على التربين والتي تشمل غطاءها (Casing)، والدهاليز (Galleries) للمعدات الإضافية ونظام المحرك المؤازر في نظام التحكم الآلي (Servo-Motor).

أرضية التربين تكون مباشرة فوق مستوى التربين ويمكن أن تستخدم للاقتراب نحو مشغل التربين (Runner) وحلقة الضبط.

أرضية التوربين تكون أسفل أرضية المولد وتمكن من الاقتراب منه بسلالم.



شكل (٩/١٨) مكونات محطة الطاقة بالعامود الرأسى

المنشأ العلوي: Super Structure

المنشأ العلوي لمحطة توليد القدرة يمتد من أرض المولد إلى سقف المنشأ ويشمل المولدات، وعناصر التحكم (Governors)، المستثير (Exciter)، حجرة التحكم والمعدات الإضافية اللازمة للتهوية والتبريد، الجزء الهام في معدات محطة توليد الطاقة هو الرافعة المعلقة على مستوى السقف. المنشأ العلوي له ثلاث أحوزة (3Bays) وهي: حوزة المحرك ذات وحدات التوليد، حوزة الرفع والخدمة لتداول أجزاء المحرك الضخمة وتحميلها وتنزيلها وتقريبها وحوزة التحكم والتي تحتوي التحكم الرئيسي والمعدات الأخرى المستخدمة في التشغيل.

أنبوب السحب والمسرب السفلي لتسريب مياه التدوير:

Draft Tube And Tail Race:

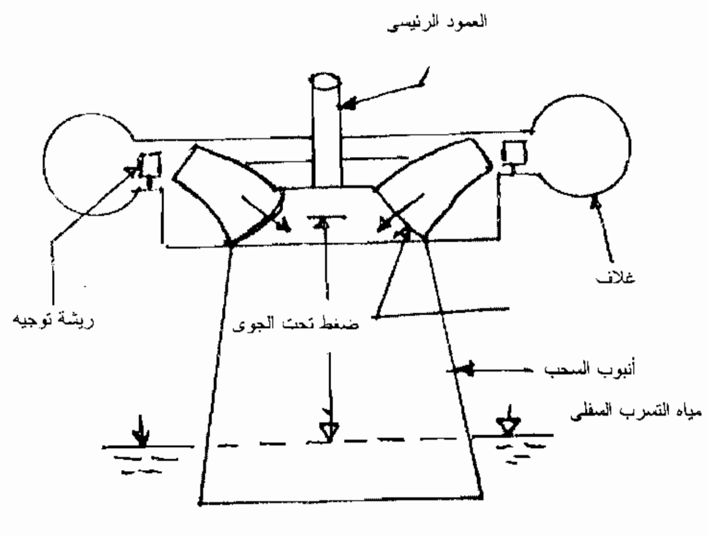
أنابيب السحب يتم توفيرها أساسًا لاستعادة ضغط السرعة (Velocity Head) عند مخرج مشغل التربين (Runner outlet) ومنعها من الذهاب للصرف كفاقد. وهي كذلك تمكن التربين من الوضع عند ارتفاع أعلى قليلاً بدون الفقد في ميزة فرق الارتفاع. وذلك يتم تحقيقه نتيجة للضغط دون الجوي الذي يتوفر عند مخرج مشغل التربين. الشكل (١٩). أنابيب السحب من نوعين:

الأنبوب القمعي بالمقطع الدائري أو نوع الكوع بالمساحة التي تزداد بالتدريج.

المسرب السفلي (Tail Race): وهو عبارة عن القناة التي يتم فيها صرف الماء بعد المرور خلال التربين. طبقًا للظواهر الطبوغرافية للمساحة، فإن التدفق الخارج يمكن صرفه مباشرة للمجرى حيث تكون محطة الطاقة قريبًا من المجرى أو أن التدفق الخارج قد ينصرف فى قناة ذات طول كبير حيث يوجد المجرى بعيدًا عن محطة الطاقة.

في أي الحالات، فإن القناة يجب أن يتم تبطينها جيدًا لمنع البرى أي خفض ارتفاع مياه التسرب عند برى قاع القناة. حيث أن المسرب السفلي لصرف المياه يمكن من أكبر استخدام للضغط العالي، فإنه يكون مكونًا هامًا خاصة للمحطات ذات الضغط

المنخفض (Low Head) ولذلك يتم تصميمها طبقًا للمعلومات حول ارتفاع ماء التسرب السفلي (Tail Water) عند مختلف معدلات التدفق.



شكل (٩/١٩) أنبوب سحب قمعى

الباب الثالث

الفصل العاشر
أنواع السدود ومتطلبات إنشائها

١– المقدمة:

السد هو منشأ هيدروليكي يقام متعامدًا مع (Across) النهر لتخزين المياه على جانب اتجاه المنبع (Up stream). عند إنشاء السد فإن منسوب المياه في النهر على جانب اتجاه المنبع يزداد كثيرًا بما ينتج عنه تكوين خزان (Reservoir). عندئذ يستخدم الماء عند الحاجة إليه طبقًا للغرض من تصميم الخزان سواء كان لاستخدامه في غرض واحد أو لعدة أغراض مثل الري، توليد الطاقة الكهربية، أو الإمداد بالماء أو الري.

السد يختلف عن الهدار (Weir) في أنه بينما السد يجمع ويحجز المياه باستمرار على جانب اتجاه المنبع، فإن الهدار يرفع فقط الماء بصفة مؤقتة على جانب. لذلك فإن الهدارات يشار إليها كذلك كسدود تحويل (Diversion Dams).

٢– تقسيم السدود (Classification of Dams)

السدود يمكن تقسيمها طبقًا للغرض من إنشائها، وتصميمها الهيدروليكي ومواد الإنشاء المستخدمة كالآتي:

أ – طبقًا للغرض من إنشائها (Based on Function) حيث يشمل التقسيم:

<u>سدود التخزين:</u> لتخزين المياه من إذابة الجليد وترسيبات الأمطار خلال الفصول الممطرة للاستخدام خلال العام طبقًا للحاجة إلى الماء في مجال الري وفي توليد الطاقة الكهربية.

<u>سدود التحويل:</u> أساسًا لرفع مستوى الماء في النهر بهدف توفير الضغط اللازم لتحويل المياه نحو القنوات مثال، الهدارات، والسدود (Barrages)، لا يتم تكوين خزان.

ارتفاع السد يكون أقل كثيرًا. عند التدفق العالي تمر المياه خلال أو فوق تلك السدود بينما خلال التدفق الطبيعي، فإن النهر يكون غالبًا محولاً نحو قنوات الري.

سدود الحجز: (Detention Dams): تنشأ لتخزين الماء خلال الفيضانات ثم تطلقه بالتدريج بعد ذلك عند انحسار الفيضان. لذلك فإن السدود تكون قادرة على التحكم، أو خفض ذروة الفيضانات العالية.

ب- طبقًا للتصميم الهيدروليكي:

السدود غير ذات التدفق العلوي (Non-over flow Dams): وهي تلك السدود أو الجزء من السد الذي لا يسمح بتدفق الصرف الزائد للخروج من قمة السد. لهذا السبب، فإن قمة السد تظل عند مستوى أعلى من أقصى منسوب للمياه في الخزان.

السدود ذات التدفق العلوي: (Over Flow Dams): وهي تصمم لحمل التصرف الزائد فوق جزء من السطح العلوي للسد (Crest Portion). والذي يسمى المفيض أو قناة تصريف الفائض (spill wag). منسوب السطح العلوي للسد يظل منخفضًا عند قمة الجزء الآخر من السد – نظرًا لأن الماء ينهمر على الوجه المقابل لاتجاه مجرى النهر (Downstream) فإنه يكون مقامًا من مواد ليس من السهل تآكلها، من الخرسانة أو البناء. عادة يكون في مشروع وادي النهر كلا نوعي السد الذى بغير التدفق العلوي وبالتدفق العلوي مجتمعين معًا بحيث يكون السد الرئيسي من نوع غير التدفق العلوي المنشأ من مواد جامدة (Rigid) – لا ينفعل شكلاً أو حجمًا بتأثير القوى الخارجية بينما الجزء الصغير، في مكان مناسب، يعمل كسد التدفق العلوي ومصنوع من المواد الجامدة.

جـ- طبقًا لمواد الإنشاء:

هذا هو التقسيم العام ويشمل النوعين الآتيين:

السدود الجامدة: (Rigid Dams)

وهي تنشأ مواد جامدة مثل الخرسانة، البناء، الصلب، الأخشاب ولذلك فإنها تسمى سدود خرسانية، سدود من مواد البناء، سدود من الصلب، وسدود خشبية. من هذه السدود الصلبة لا تستخدم عادة والسدود الخشبية قد تنشأ بصفة مؤقتة لفترة عمرية تقل عن ٥٠ عامًا.

السدود الخرسانية تنقسم إلى سدود الثقالي (Gravity Dams) والذي يحول ثقله دون انهياره، سدود العقد أو القنطرة (Arch Dams)، السدود الكتفية، المدعمة بالدعائم الكتفية (Buttress Dams). بينما سد الجاذبية المصمت (Solid Gravity) هو الأكثر صلابة ويتطلب أقل صيانة، السدود المجوفة أو المقعرة (Hollow) تنشأ من الخرسانة المسلحة من نوع الدعائم الكتفية.

السدود غير الصلبة:(Non Rigid Dams)

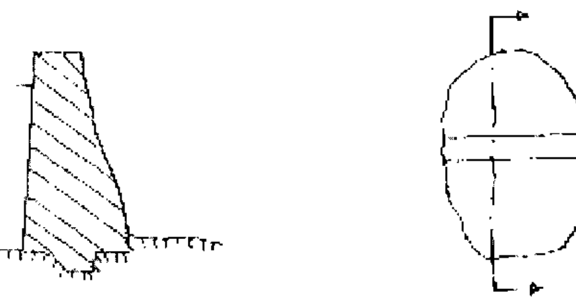
وهذه تنشأ من مواد غير صلبة من مواد التربة (Earth Rock fill Dam)

ولذلك تسمى سدود التربة والملئ بالصخر(Earth and Rock fill Dams)

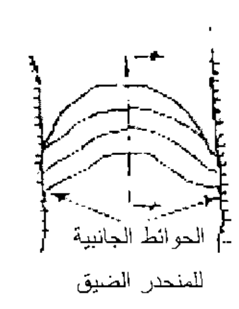
جدول (١) تقسيم بعض أنواع السدود في العالم.

اسم السد	الدولة	النوع	الارتفاع بالمتر
أسوان	مصر	ترابي	١١٥
هونوفر	أمريكا	المقنطرة	٢٢٢
نيريك	روسيا	ترابي	٣٠٠
فاجونت	إيطاليا	المقنطر	٢٦٢
ميكا	كندا	ترابي	٢٣٥
أورفيل	أمريكا	ترابي	٢.٣٥

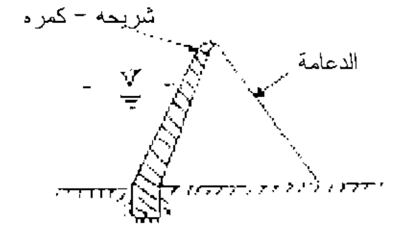
الشكل (١٠/١) يوضح أنواع السدود

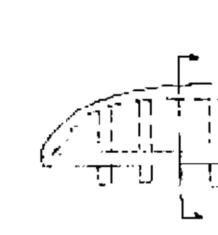


التثاقل

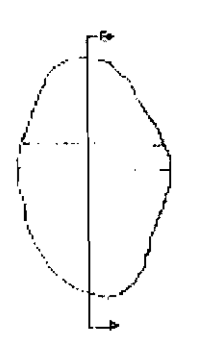


العقد





الكتف أو الدعامة



طرق السد بالملئ الصخرى

لب غير مسامى

ترابى

مقطع عرضى
مسقط رأسى

شكل (١٠/١) أنواع السدود

٣–اختيار نوع السد:

توجد عدة عوامل التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند اختيار نوع السد. وهذه تشمل الأمان، الاقتصاد، وطبوغرافية موقع السد، والحالة الجيولوجية، للأساسات، وكذلك العوالم الهيدرولوجية (الخاصة بالمياه الجوفية) والهيدروليكية ووفرة مواد الإنشاء والمناخ. وتلك سيتم مناقشتها كالآتي:–

أ – الأمان: هو الاعتبار الأهم والذي قد يتفوق على باقي الاعتبارات، حيث فشل السد له طبيعة كارثية التي لا يسمح بها. تأمين موقع السد يكون بالنسبة للأساس وبعض الخواص لموقع معين – لذلك، فإن السد الخرساني المصمت يعتبر الأكثر أمانا شريطة توفير الأساسات القوية الجيدة وتوفر الوصول إلى الوادي الضيق للنهر.

ب– العامل الاقتصادي: هو التالي من بين الاعتبارات. التحليل الاقتصادي يجب أن يبنى على اقل تكلفة لأنواع السدود مع اعتبار التكلفة الرأسمالية للإنشاءات وكذلك تكاليف الصيانة.

جـ– طبوغرافية موقع السد: هي اعتبار هام آخر. لذلك فإنه لموقع السد ذو الخانق الضيق (Norrow canyou) وأكتاف قوية (Strong Abutments) ذات صخور جيدة، فإن سد العقد أو القنطرة (Arch) سيكون مناسب بينما في حالة الموقع ذو طبقة أساس صخرية جيدة ولكن الأكتاف ضعيفة فإن سد الجاذبية سيكون هو المناسب.

د – جيولوجية الأساس: إذا كانت جيولوجية الأساس انه لا توجد صخور جيدة متاحة، فإن الموقع لا يكون مناسبًا لنوع السد بالجاذبية. ولكن في حالة توفر الصخر الجيد وعلى مسافة كبيرة أسفل السطح، فإن السد الترابي سيكون مناسب جدًا واقتصادي وخاصة إذا كان المطلوب مد بارتفاع كبير.

هـ – العوالم الهيدرولوجية والهيدروليكية: إذا كان موقع السد يتض من انحراف النهر، فقد يكون من الضروري إنشاء نفق أو قناة تحويل مسار كل التدفق خلال إنشاء النفق والذي يتطلب وجود صخور قادرة على التحمل (مناسبة جيولوجياً وطبوغرافيا) لإقامة سد خرساني مصمت. الحاجة إلى مفيض عند مكان معين في حالة السد الركامي (Earth) هو من الاعتبارات الهامة حيث أنه ليس من الأمان

السماح بتدفق المياه بكميات كبيرة والانسكاب مباشرة فوق جدار السد الناعم في حالة رصفه جيدًا.

و- توفر مواد الإنشاء: في حالة وجود مواد إنشاء مناسبة في الموقع، فإن تكلفة السد ستكون منخفضة بسبب انخفاض تكاليف النقل. لذلك، فإنه في حالة وفرة بعض أنواع مواد التربة بسهولة فإنه في هذه الحالة يقترح السد الركامي (Earth Dam).

ز- الظروف المناخية: وهي كذلك تؤثر على اختيار نوع السد في الأماكن ذات حالات البرودة الشديدة، ونظرًا لأن الخرسانة تتشظى مع التجمد والتمدد المتبادل، حيث لا تكون السدود من العقود أو المدعمة بالدعائم الكتفية مناسبة.

٤- اختيار موقع السد (Selection of Dam site)

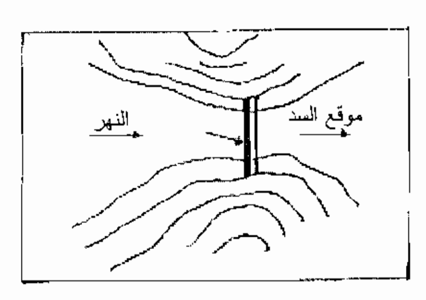
اختيار موقع السد يتم طبقًا لعدة عوامل كالآتي:

أ- طبيعة التأسيس: Character of fouudations

التأسيس الجيد يجب أن يكون متاحًا عند العمق المتوسط لتأمين المنشأ وكذا لاقتصاديات الإنشاء.

ب- الطبوغرافية:

يتم اختيار موقع السد في وادي ضيق، الشكل (٢). كلما كان طول السد صغيرًا، كلما كانت التكلفة أقل. كذلك فإن وادي النهر يجب أن يكون منتشراً كالمروحة (Fan) على جانب اتجاه المنبع (upstream) لتوفير طاقة خزان كبيرة لارتفاع معين.



شكل (١٠/٢) موقع السد فى وادى ضيق

جـ- العوامل الهيدرولوجية:

وهذه تشمل الصرف أو الانسياب السطحي (Run off) في مستجمع الأمطار (catchment) والراسب لماء النهر. مستجمع الأمطار فوق التيار على جانب المنبع لموقع السد يجب أن يوفر استمرار تدفقات الأمطار المؤكدة، بجانب أن ماء النهر يجب أن لا يحتوي على أحمال رواسب كبيرة والتي تسبب تراكم الغرين في الخزان وبذا تقلل من كفاءة التخزين.

د- طاقة المفيض (Spillway capacity):

يجب أن يكون مكان موقع المفيض في جسم السد أو قريبًا منه للتخلص من مياه الفيضان الزائد. وهذا يعتبر شديد الأهمية في حالة السد الركامي (Earth Dam).

هـ- وفرة مواد الإنشاء:

معظم المواد اللازمة لإنشاء الخزان يجب أن تكون متاحة قريبًا من الموقع وذلك لخفض تكلفة الإنشاء.

و- قيمة الأرض المغمورة:

قيمة الأرض أو الممتلكات المحتمل إغراقها بسب إنشاء السد يجب أن تكون أقل من الفائدة التي تعود من مشروع السد.

ز- سهولة الاقتراب من الموقع:

موقع السد يجب أن يكون من السهل الوصول إليه سواء بواسطة طريق أو سكة حديد لتسهيل نقل مواد الإنشاء والمعدات.

ح- وسائل الإعاشة:

يجب توفير إمكانية السكن والإعاشة الجيدة للعاملين وذلك لتحقيق أفضل جهد إنتاجي. كذلك فإن المكان يجب أن يكون ذو مناخ صحي.

٥- الدراسات والأبحاث الحقلية للموقع (Site Investigations)

قبل البدء في تصميم وإنشاء السد، فإنه يكون من الضروري عمل الدراسات والأبحاث الحقلية لتعيين أفضل موقع مناسب للسد. مثل هذه الدراسات والأبحاث تنقسم إلى الاستطلاع بالمعاينة، الأبحاث الأولية، والأبحاث النهائية.

أ- الاستطلاع بالمعاينة (Reconnaissance survey)

هذه معاينة عامة والتي تتم لتعيين جدوى المشروع، المظاهر الطبوغرافية للمنطقة والمواقع الممكنة المتاحة لإقامة السد المقترح. يتم الاستطلاع بالمعاينة وبدون استخدام أي أجهزة مساحية.

ب- الأبحاث الأولية: (Preliminary investigation)

وهذه يلزم عملها لتعيين الموقع الاقتصادي المناسب من بين عدة مواقع تم اختيارها عند إجراء الاستطلاع بالمعاينة وتبنى على جميع البيانات الفنية الموثوق بها تمكن من التصميم الأولي وتقدير تكاليف الإنشاء، الأبحاث الأولية تتم طبقًا للبنود التالية.

<u>(١) المساحة الهندسية وعمل الخرائط الطبوغرافية:</u>

المساحة الهندسية تتم باستخدام أجهزة مساحية والتي تشمل المساحة باللوحة المستوية (Plane Table survey)، المساحة المثلثية (Trainglular).

والمساحة الجوية والفوتوغرافية (A real And Photographic surveys).

الهدف الرئيسي هو لإعداد خريطة طبوغرافية للمساحة التي تمكن من ا لتحديد المدقق لموقع السد، وانتشار ماء الخزان وطاقته التخزينية وتنظيم خطوط المواصلات، الطرق السريعة والسكك الحديدية لتحرك مواد الإنشاء ومعدات وآلات الإنشاء الثقيلة.

<u>(٢) الأبحاث الجيولوجية:</u>

وهذه تتم لتعيين إحكام الماء في حوض الخزان (عدم التسرب)، طبيعة التكوينات الصخرية وعمق التحميل المفرط فوق الطاقة (Depth of over Depth)

(burden)، خصائص الظواهر الـصخرية مثـل خطـوط الاتـصال (Seams)، التصدعات، التشققات ونوع المواد في التحميل المفرط أو الطبقـة الـصخرية، الأبحاث تتم على مرحلتين (١) الاستكشاف السطحي وعمل الخرائط للظـواهر العامة (٢) الاستكشاف تحت السطح والذي يتم خلال الحُفَر المكـشوفة، عمـل الأنفاق أو الحُفَر في أجناب وقاع الوادي.

(٣) مواد الإنشاء المتاحة:

استكشاف مواد الإنشاء المتاحة مثل الأتربة، الـزلط، الركـام الـدقيق (رمـل وحصى Aggregate يوفر المعلومات المفيدة نحو اختيار نوع السد من بين السد الترابي، السد الخرساني.

(٤) المساحة الهيدرولوجية (Hydrological survey)

وهذه تشمل المعلومات الهيدرولوجية التي تمكن من تعيين إمكانيـات تخـزين المياه عند موقع السد. وتلك تشمل نمط وشـكل سـقوط الأمطـار والانـسياب السطحي في مستجمع الأمطـار (Run off in the detachment)، الميـل العـام للأرض، ونوع ومعدل إنصباب الطمي (Silt Inflow)..إلخ.

جـ- الأبحاث النهائية: (Final Investigations)

بعد إتمام الأبحاث الأولية لعدة مواقع والحصول على البيانات الفنيـة ذات العلاقـة وتقديرات التكلفة، فإنه يكون من الضروري اختيار أحد تلك المواقع لعمل الأبحاث النهائية التفصيلية بما يمكن من تحضير التصميمات التفصيلية لعناصر الإنشاء للسد والوصول إلى تقديرات محددة لتكلفة الإنشاء. يمكن الإشارة إلى أنه بهذه العمليـة يكون من الممكن التخلص من تكلفة المباحث الأولية التفصيلية غيـر الـضرورية التي تمت في المرحلة الأولى على الموقع. كمثال، في حالة موقع السد الذي تكون ظروفه تحت السطحية (Subsurface conditions) غير مناسبة، والذي يلزم تجنبهـا واستبدالها بموقع آخر للسد يكون مفضلاً، فإنه يوجد القليل من التبرير نحو المعاناة وتكلفة المباحث الأولية في المرحلة الأولى.

المباحث النهائية تشمل النقط الرئيسية الآتية للمشروع:

(١) السلبيات والإيجابيات النسبية لاثنين أو أكثر من مواقع السد لقيم الاختيار النهائي لواحد منهم.

(٢) طبيعة التأسيس عند المواقع بالنسبة لتأمين السد والتكلفة.

(٣) نوع السد الذي سيتم إنشاؤه.

(٤) التقييم الدقيق للتكلفة التقديرية للمشروع.

(٥) التصميم التفصيلي لإنشاء السد.

(٦) الوضع النهائي للسد ووحداته التكميلية مثل محطة الطاقة، خطوط المواصلات، السد المؤقت (Coffer Dam)، الطرق، السكك الحديدية، وموقع الإنشاء.

٦- الاستكشافات تحت السطح (Subsurface Exploration)

وهذه تتم لتوفير معلومات مفيدة عن الطبقات تحت التربة عند موقع السد (Subsurface strata). في حالة التحميل الزائد قد يكون من الضروري التأكيد على أن المواد المكونة لضمان تأمين أرض الخزان الذي سيتم إنشاؤه. ولكن في حالة وجود طبقة صخرية في التأسيس عند الموقع، فقد يكون من الضروري معرفة قوتها أو ضعفها قبالة السد الخرساني المقرر إقامته عند الموقع.

الاستكشافات تحت السطح تتم بالطريقتين الآتيتين:

(١) الطرق الرئيسية.

(٢) الطرق الإضافية.

وصف مختصر لكلاً الطريقتين:

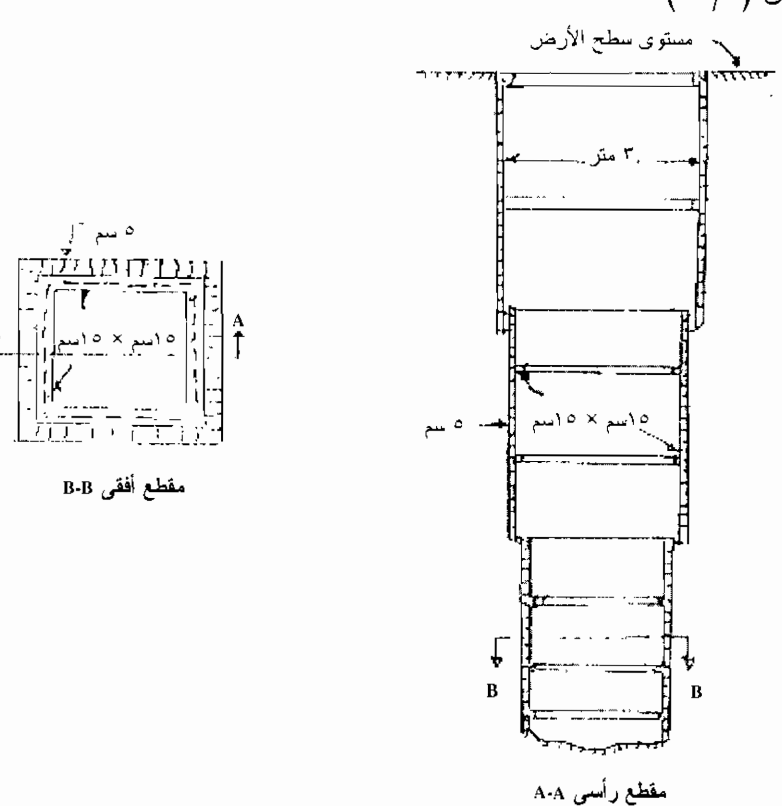
١- الطرق الرئيسية:

وهذه مبنية على مكان الطبقة الصخرية أو التحميل الزائد ويشمل الطرق الآتية:

(١) حفر الاختبار (Test Pits)

حفر الاختبار هي حفر مكشوفة أو خنادق يتم حفرها لاستكشاف تحت الأرض للأحمال الكبيرة في حالة عدم اضطراب بهدف تعيين طبيعة، ونفاذية وقوة التحمل الكبير(Over burden). لذلك، فإن عينات المواد الطبيعية التي لا يتم اضطرابها يتم وضعها في سلسلة من الاختبارات العملية. وتلك الاختبارات تكون ضرورية تحديدًا في حالة الطفلة، الطفلة الرملية، الرمال الناعمة.

يتم حفر الحفر بمسطح مساحة عادية من ١,٢٥ متر × ١,٢٥ متر حتى أقصى عمق مطلوب ٢ متر. بالنسبة للأعمال الكبيرة حتى ١٨ متر تكون مساحة سطح الحفرة ٣ متر × ٣ متر مع توفير الأخشاب والألواح المساندة لمنع انهيار الأجناب شكل (١٠/٣).



شكل (١٠/٣) تبطين حفرة الاختبار

(٢) نفق الاختبار الرأسي: (Test shefts)

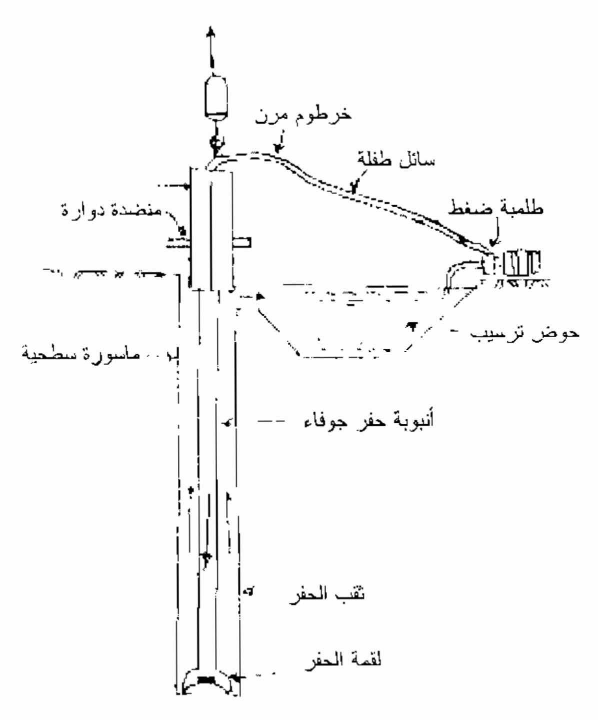
وهذه هي أنفاق (Tunnels) في جانب الوادي أو الأكتاف الصخرية للتمكين من التفتيش والبحث على الواقع كما في حالة حفر الاختبار. أبعاد نفق الاختبار الرأسي يلزم أن تكون طويلة إلى حد ما وفي جميع الحالات لا تقل عن ١,٥ متر × ١,٥ متر.

(٣) الحفر بالمثقاب الأجوف لاستخراج العينات الجوفية (Core Drilling)

ويتم ذلك الحفر للحصول على عينة غير مضطربة على أعماق كبيرة وخفض التكاليف، إنه يكون لزامًا حفر بئر الحفر (Porchole) باستخدام الحفر الدوار وأخذ عينات العمق في حالة غير مضطربة من العمق المطلوب. الطرق المستخدمة عادة هما المثقاب الماسي (Diamond Drilling) الحفارة الكأسية لاستخراج العينات اللبية (Calyx Drilling).

(أ) المثقاب الماسي: وهو يستخدم أنبوبة تخريم جوفاء بحلقة من الصلب مثبت بها ماسات (set with Diamonds) وتدور بواسطة طبلية الحفر الدوارة (Rotary Table) والتي تعمل بمصدر الطاقة.

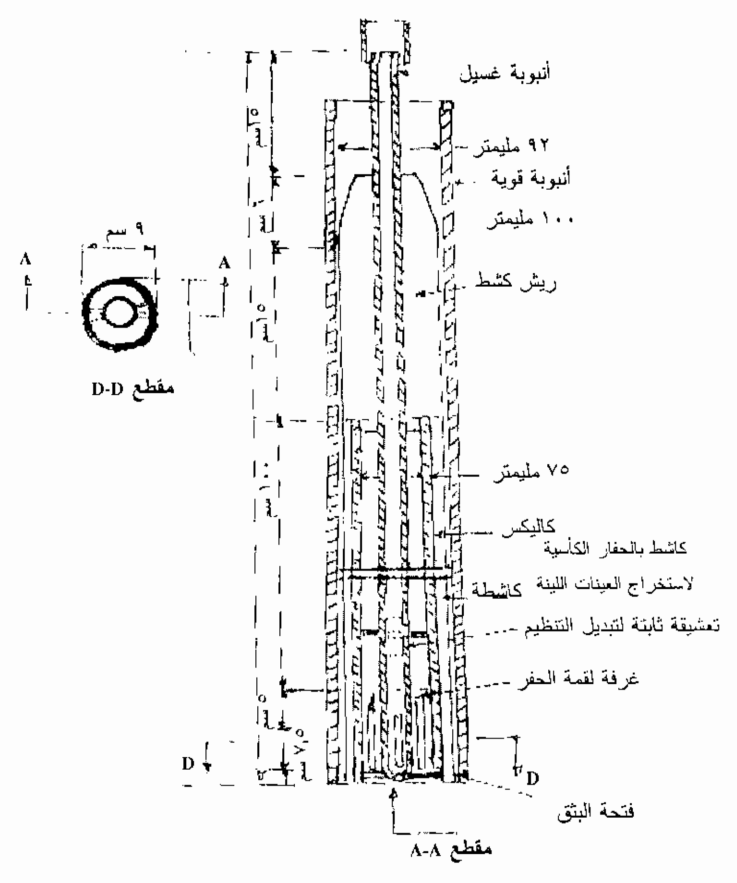
سائل الحفر الذي يتكون من الطفل الدقيق أو من البنتونايت من حوض الترسيب يتم ضخه بأنبوب الحفر شكل (١٠/٤). والتدفق خلال الفتحة الموجودة عند قاع الحفر، يتم حمل المادة المفككة إلى السطح بواسطة سائل الحفر الذي يمر خلال الفراغ الحلقي (Angular space) مابين أنبوب الحفر وحوائط ثقب الحفر. مع المرور خلال الفراغ فإن السائل يمنع الانهيار وذلك بطلاء وتدعيم تكوينات التربة التي تم اختراقها. أنبوب التغليف (casing pipe) تتبع لقمة الحفر (Drill pit) وتسقط بفعل وزنها. المواد المفككة يتم الحصول عليها في شكل عينة جوفية (Core) عند رفع عمود أنبوب الحفر، الاسطوانة الجوفية (Core Borrel) ولقمة الحفر.



شكل (١٠/٤) حفر الماسة بطريقة الدوران المباشر

(ب) الحفارة الكأسية لاستخراج العينات اللبية (Calyx Drilling) لأخذ العينات غير المضطربة، يكون من الضروري أن طبقة التربة القريبة مباشرة من ثقب الحفر تكون عند أدنى اضطراب ولا يوجد تغير في خواص التربة بسبب تشبعها بالرطوبة. استخدام الحفر البريمي بالمثقاب والتنفيث (Jet Auger) ذو الكاشطة بالحفارة الكأسية لاستخراج العينات اللبية يساعد في التغلب على صعوبة الحصول على عينات غير مضطربة لطبقة التربة. يتم تركيب مثقاب الحفر حول أنبوبة التنفيث (Jet pipe) ذات الثقوب عند أطرافها السفلى والحاملة لأنبوب رقيق الجدار يسمى (كالكس --Calyx) عند نهايته العليا شكل (٥). هذه الكالكس لها كاشطات على الخارج. إجمالي العمود يتحرك في أنبوبة الغلاف (Casing pipe). عند دوران أنبوبة التنفيث فإن المادة تتفكك بواسطة الكاشطات الجانبية وتحمل بواسطة ماء الغسيل المتدفق إلى أعلى ما بين أنبوبة الغلاف والكالكس (الحفارة الكأسية). عند مرور

التربة المحملة بالماء إلى أعلى الحفارة الكاسية (الكـالكس) فـإن الـسرعة تنخفض فجأة وبشدة حيث ينتج عن ذلك ترسيب المادة الخشنة والطفلـة فـي الحفارة الكأسية (الكالكس) بينما المادة الخشنة والطفلة في الحفـارة الكأسـية (الكالكس) بينما المادة الدقيقة تحمل إلى خارج أنبوبة الغلاف بواسـطة مـاء الغسيل. عمود أنبوبة التنفيث والحفارة الكأسية ومثقاب الحفر يتم سحبهم إلى الخارج وإزالة العينة الصلبة من الكالكس. آبار الاختبار تنشأ عمومًا علـى فواصل من ٢٠-٢٥ متر. في اتجاهين بزوايا قائمة لكل منهم.



شكل (١٠/٥) الحفر بطريقة كالكس

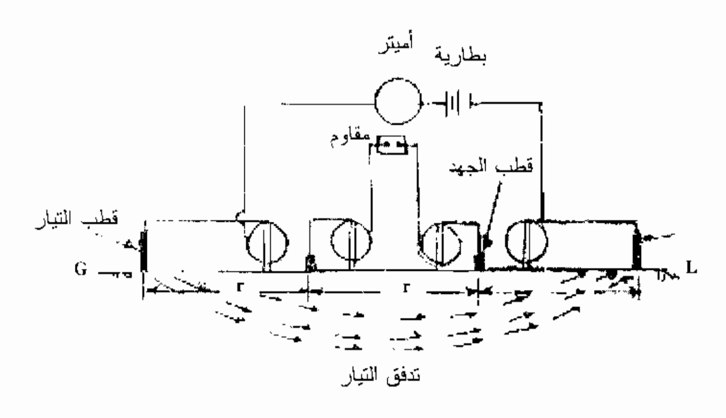
٢- طرق إضافية:

تلك الطرق تستخدم غالبًا في الطبقة الصخرية لتأكيد المعـالم الـسطحية العامـة للصخر بما يمكن من حفر بئرين آخرين خلال الحمل أو التحميل المفرط للوصول إلى طبقة عند أعماق أكبر. تحديدًا، القليل من آبار الحفر المنتشرة على اتساع يتم اختيارها لتعمل كآبار إرشادية. لذلك، فإن هذه الطرق تؤدي إلى تفهـم أفـضل للطبقـة تحـت السطحية مع خفض تكلفة الاستكشاف.

من بين الطرق الإضافية الهامة طرق المقاومة الكهربيـة والقياسـات الزلزاليـة (seismic) المستخدمة أساسًا.

(١) طريقة المقاومة الكهربية: (Electrical Resistivity Method)

هذه الطريقة مبنية علـى مقـاس مقاومـة التوصـيل التفاضـلي Differential conductivity للرطوبة في الطبقة الصخرية عند أعمـاق مختلفـة. القيـاس يـتم بواسطة معدة في دائرة كهربية شكل (١٠/٦). المعدة تشمل قطبى التيار للإمـداد من بطارية كمصدر للتيار أسفل الطبقة السفلية (Substrata) وقطبى جهد لاستمرار فرق الجهد للمجال الكهربى.



شكل (١٠/٦) طريقة المقاومة الكهربية

تقاس المقاومة الكهربية بالعلاقات التالية:

$$R = \frac{2\Pi r E}{I} \qquad (1)$$

حيث:

R = المقاومة (أوم – متر)

r = الفاصل بين الأقطاب (بالمتر)

E = فرق الجهد (فولت)

I = التيار أمبير.

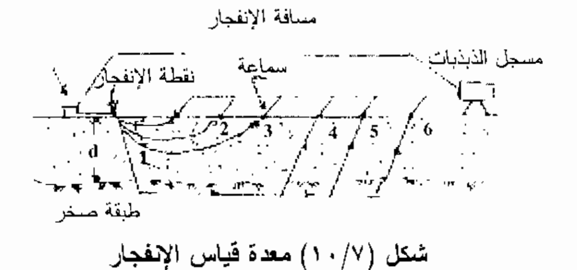
بزيادة الفاصل بين الأقطاب (r) بالتدريج، فإنه يمكن رصد التغيرات في المقاومة الكهربية عند أعماق مختلفة.

(٢) طريقة القياس الزلزالي (Seismic measurement Method)

الطريقة مبنية على قياس سرعة وتقدم الموجات التي يسببها الانفجار لمختلف طبقات الصخر خلال طرق التحميل الصخري ومعناها عمق الطبقة مع المسافة التي عندها يحدث تأثير متساوي للموجات الزلزالية لقاع وقمة الطبقة الصخرية.

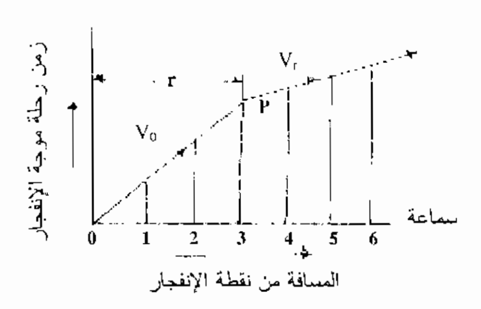
المعدة الموضحة في الشكل (١٠/٧) تتضمن مستقبل الموجات الذي يسمى السماعات الأرضية (Geophone) أو لاقطات الإرسال (Pick - Ups) المثبتة على عدد من النقاط متساوية المسافة على خط واحد (٣٠متر) لتكبير ونقل الموجات الزلزالية التي يسببها تفجير عبوة في الأرض الموضوعة عن نقطة الانفجار.

بعض الموجات التي تحدث يمكن أن تسير مباشرة قرب سطح الأرض بسرعة (V_o) والبعض الآخر تعبر الطبقة الحاملة ثم تنعكس من الطبقة الصخرية بسرعة (V_r). توقيت كلا من الموجتين يتم تسجيله بواسطة ساعة توقيت رسم الذبذبات (Oscillograph -cum- Timer).



شكل (١٠/٧) معدة قياس الإنفجار

المسافة من نقطة الانفجار التي عندها تتغير السرعة من V_o إلى V_r يتم تعيينها بالرسم البياني من العلاقة بين زمن رحلة الموجة الزلزالية على المحور الرأسي مع مسافة السماعة الأرضية من نقطة الانفجار الموقعة على المحور الأفقي شكل (١٠/٨).



شكل (١٠/٨) العلاقة بين زمن الرحلة لموجة الإنفجار مع المسافة من نقطة الإنفجار

عند نقطة التقاطع (P) للموجات التي تسير بسرعة V_o والموجات بسرعة V_r، فإن كلاً من الموجة المباشرة والمنعكسة تصل في نفس الوقت. المسافة (r) لنقطة تغير السرعة يتم تسجيلها.

يتم تعيين عمق التحميل الزائد (d) من العلاقة:

$$d = \frac{r}{2}\sqrt{\frac{V_r - V_0}{V_r + V_0}} \qquad (2)$$

حيث:

r ، d بالأمتار وكلا من V_o ، V بالمتر /الثانية.

الفصل الحادى عشر

السد الثقالى

Gravity Dam

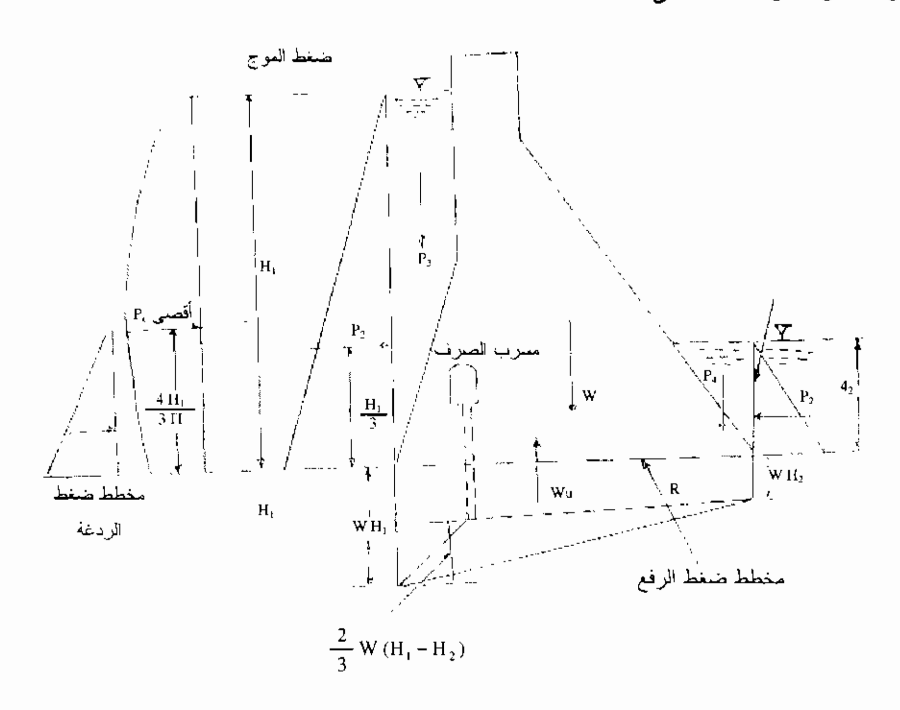
١- المقدمة:

يعتبر السد الثقالي على وزنه للاستقرار والثبات وعدم الانهيار، وعمومًا يكون بمقطع شبه منحرف وقاعدة مستقيمة. الميزة الرئيسية له هي البساطة في تحليل سلوكه الإنشائي. بجانب أنه عند الإنشاء فإنه لا يتطلب مهارات بدرجة مثل تلك المطلوبة لسدود العقد أو القنطرة (Arch Dams) أو السدود المدعمة بالدعائم الكتفية (Buttress Dams). السد الثقالي يحتاج إلى أساس صخرى جيد. كثير من السدود الضخمة في العالم سدود ثقالية. في القرن التاسع عشر كانت السدود الثقالية تنشأ من المباني بالأحجار (Stone Masonary). ولكن حاليًا تم استبدالها بالسدود الثقالية الخرسانية.

٢- القوى التي تعمل على السدود الثقالية: (Forces Acting on Gravity Dams)

السد الثقالي يكون معرضًا لعدد من القوى كالآتي:

أ - الوزن الذاتي للسد، الضغط الهيدروستاتيكي أي ضغط الماء الساكن، الدفع العلوي (Uplift pressure)، قوى الزلزال، ضغط الثلج، ضغط الموج، ضغط الطفلة. الأكثر أهمية بين هذه القوى هو وزن السد، الضغط الهيدروستاتيكي، الدفع العلوي، وقوى الزلزال. وهذه الموضحة في الشكل (١١/١).



شكل (١١/١) القوى التى تعمل على السد الثقالى

أ- الوزن الذاتي للسد: (Self Weight of Dam)

الوزن الذاتي للسد هو أكبر قوة مقاومة. وهو يساوي عدديًا الحجم في الوزن النوعي للمادة المكونة للسد. بالنسبة لمقطع السد، يتم حسابه بقسمة المقطع إلى عدة مكونات من المستطيلات والمثلثات، حساب وزن كل من تلك المكونات وجميع مختلف الأوزان للحصول على وزن السد والذي يعتبر أنه يعمل عند مركز متوسط للمقطع (Centroid of the section).

ب- ضغط الماء الساكن: (الضغط الهيدروستاتيكي Hydrostatic pressure)

ضغط الماء الساكن هو القوة الكبيرة التي تعمل على السد. قوى ضغط الماء الساكن يمكن أن تعمل أعلى من القوى في اتجاه المنبع وفي اتجاه المصب للسد. (Up stream and Downstream). في حالة القوى من اتجاه المنبع لكونها جزئيًا عمودية وجزئيًا أفقية، فإن محصلة ضغط الماء الساكن يمكن أن يتم تحويله إلى اثنين من المكونات.

(١) المكون الأفقي (Horizontal component)

$$(1) \qquad P_1 = \frac{W\,H_1^2}{2}$$

حيث :

H_1 = عمق عمود الماء الذي يعمل على $\frac{١}{٣}$ الارتفاع من قاعدة السد.

W = الوزن النوعي للماء.

(٢) المكون الرأسي (Vertical component)

المكون الرأسي (P_3) هو وزن الماء الموجود في عمود شبه المنحرف على طول قوى اتجاه المنبع (Upstream force) والذي يعمل على مركز الكتلة (نقطة الوسط – Centre).

بالمثل فإن محصلة ضغط الماء الساكن على الوجه في اتجاه المصب (Down stream face) يمكن تحليلها إلى اثنين من المكونات:

$$(2) \qquad P_2 = \frac{W\,H_2^2}{2}$$

حيث:

H2 = عمق الماء المنصرف بعد التدوير (Tail water) الذي يعمل عند $\frac{١}{٣}$ عمق الماء المنصرف (أو المتسرب بعد التدوير).

المكون الرأسي (P_4) هو وزن الماء الموجود في العمود المثلثي على طول الوجه في اتجاه المصب (Down stream) والذي يعمل على مركز الكتلة.

(٣) الدفع العلوي (Uplift Pressure)

الدفع العلوي هو الضغط العلوي للماء حيث يجد طريقه بين السد والأساس. فمقدار القوة يتوقف على طبيعة الأساس وطريقة الإنشاء. ولكن فإنه عمومًا يفترض أن الدفع العلوي يتغير طوليًا من الضغط اليهدروستاتيكي الكلي عند الوجه فوق ا لتيار

(في اتجاه المنبع) إلى الضغط الهيدروستاتيكي الكلي (ضغط الماء الساكن) عند الوجه تحت التيار (Down stream Face) (مرتكز جدار الدعم – TDE). طبقًا لهذه الفرضية، فإن الدفع العلوي (Wu) يكون:

$$(3) \qquad W_v = \frac{H_1 + H_2}{2} A$$

حيث:

A = مساحة قاعدة السد. قوة الدفع العلوي سوف تعمل عند المركز المتوسط لمخطط الدفع العلوي (Uplift pressure Diagram).

يمكن الإشارة إلى أن القياسات الحقيقية على السدود تبين أن الدفع العلوي أقل كثيرًا عن ذلك الذى في المعادلة السابقة (3). وطبقًا للدراسات والأبحاث فإن الدفع العلوي على السد الثقالي يفترض أنه يتغير طوليًا من الثلثين للدفع العلوي عند الكعب (Heel) إلى الصفر عند مرتكز جدار الدعم (Toe) لعمق الماء المنصرف السفلي بغير التدوير (Tail water Depth).

لتخفيف وتحرير الدفع العلوي، فإن عادة توفير دهليز أو قاعدة مستطيلة للصرف (Drainage Gallery) في جسم السد شكل (١) قريبًا من الكعب (Heal). الدفع العلوي في دهليز الصرف يتم عندئذ حسابه بالمعادلة:

$$(4) \qquad W_u = CW\left(H_2 + \frac{1}{2}\zeta(H_1 - H_2)\right) A$$

حيث:

C = نسبة تلك المساحة التي يعمل عليها ضغط الماء الساكن

ζ = كثافة الدفع العلوي (Uplift Intensity) أى نسبة صافي الضغط الرأسي – H_2) H_1) المتبقى للتبديد.

طبقًا لمعايير (USBR) فإن:

C = ١ ، ζ = ٠,٦٧ وذلك للسد العالي ذو أساس صخري في طبقات (Stratified).

بالاستبدال في المعادلة (4) فإننا نجد:

$$W_u = W\left(H_2 + \frac{1}{3}\,(H_1 - H_2)\right)\,A \qquad (5)$$

(٤) ضغط الزلزال (Earth Quake Pressure)

بسبب الزلزال، تحدث الموجات الأولية والثانية في القشرة الأرضية الموجات تمنح تسارع (Impart Acceleration) للأساس أسفل السد والذي ينتج قوة القصور الذاتي المقاومة للقوة المتسارعة (Inertia force) في جسم السد وتحدث إجهادات أولية في الطبقات السفلى ثم بالتدريج في كل جسم السد رغم أن موجة الزلزال يمكن أن تسير في أي اتجاه، فإنها عادة تحيل عجلة التسارع إلى الاتجاهات الرأسية والأفقية. من بين هذه، عجلة التسارع الرأسية لا يتم اعتبارها في تصميم السد نظرًا لأنها لا تسبب قوة تلف كبيرة، الميل نحو المنبع الذي يتوفر في مقطع السد لكونه كافيًا لحماية التأثيرات الضارة المحتمل حدوثها (التغيير اللحظي في الوزن المؤثر للسد). التسارع (العجلة) الأفقية تسبب التأثيرات التالية:

(أ) قوة القصور الذاتي المقاومة للقوة المتسارعة (Inertia force) لجسم لسد: قوة القصور الذاتي التي تعمل في اتجاه معاكس للقوة المتسارعة التي تسببها قوة الزلزال تساوي مجموعة كتلة الخزان. والتسارع (Acceleration) أي:

$$E_i = \frac{W}{g}\,(ag) = w.a \qquad (6)$$

حيث:

E_I = قوة القصور الذاتي المقاومة للقوة المتسارعة.

a = معامل التسارع (Acceleration coefficient).

g = التسارع بسبب الجاذبية.

القيمة العادية لـــ (a) هي ما بين ٠,١ – ٠,٢ وتعتبر قوة القصور الذاتي أنها تعمل عند مركز متوسط كتلة السد (Centroid of The mass of Dam).

ب- الضغط الهيدروديناميكي الخاص بحركة الماء (Hydrodynamic Pressure of water): العجلة (التسارع) الأفقي للسد والأساس بسبب التذبذب فـــي الزيـــادة والنقصان في الضغط الهيدروستاتيكي (ضغط الماء الثابت) على وجه الـــسد. طبقا لـــ (Von-Karman) فإن تغيرات الضغط الهيدروديناميكي يفترض أنهـــا قطعى مكافئ (Parabolic) وتحسب من المعادلة.

$$(7) \qquad P_e = 0.555 \ a \ w \ H_1^2$$

العمل عند ارتفاع $\frac{4\,H_1}{3\,\Pi}$ فوق قاع الخزان (الشكل ١). طبقاً لـــــ (Zangar)، فإن تغير الضغط الهيدروديناميكى يكون سطح مكافئ بيضاوى (Elliptical – Cum. Parabolic). باستخدام الطريقة الكهربية المشابهة، فقد استنتج المعادلـــة التالية التى تعطى شدة للضغط عند عمق أقصى أسفل منسوب للمياه.

$$(8) \qquad P_e\,y = Cy \ a \ w \ H_1$$

حيث:

Cy = معامل الضغط (بدون أبعاد) عند عمق أقصى أسفل منسوب للمياه.

$$(9) \qquad Cy = \frac{C_m}{2}\left(\frac{Y}{H_1}\left[2-\frac{Y}{H_1}\right]+\sqrt{\frac{Y}{H_1}\left[2-\frac{Y}{H_1}\right]}\right)$$

C_m = أقصى قيمة لمعامل الضغط لميل ثابت معين =

$$= 0.735\frac{\theta}{90^0}$$

θ = الزاوية بالدرجات الذي يكونها وجه السد في اتجاه المصدر مع الأفقي.

إجمالي الضغط عند العمق Y يمكن إيجاده بمتوسط مساحات ربع البيضاوي وشبه القطع المكافئ Areas of quarter-Ellipse and semi-parabola.

$$Pey = \frac{1}{2}\left(\frac{\Pi}{4} Pey\ \ Y + \frac{2}{3} Pey\ Y\right)$$

$$(10) \qquad = 0.726\ Pey\ Y$$

النتائج المعطاة تقارن بتلك التي تم الحصول عليهــا باســتخدام معادلــة (Van – Karınan).

(٥) ضغط الثلج (Ice Pressure)

ضغط الثلج عامل هام للسدود المنشأة في الدول الباردة. ضغط الثلج عنــد ســطح الماء للخزان معرض للتمدد والانكماش بسبب التغير في درجة الحرارة. معامــل التمدد الحراري للثلج لكونه خمسة أضعاف ذلك للخرسانة، فــإن الــسد يجــب أن يقاوم القوى الناتجة عن تمدد الثلج. القوة تعمل خطيًا في موازاة طول الــسد عنــد مستوى الخزان، ومقدارها يتغير من ٢,٥ كيلوجرام/سم٢ إلى ١٥ كجــرام/ســم٢. المسموح به عموما هو المتوسط ٥ كجرام/سم٢ وذلك في الظروف العادية.

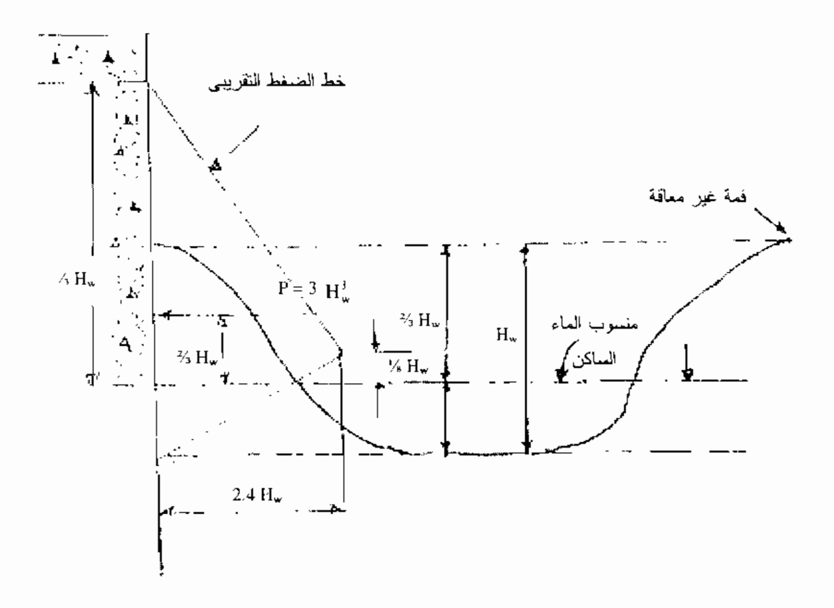
(٦) ضغط الموج (Wave Pressure)

الأمواج تولد على سطح الخزان بسبب هبوب الرياح فوقه. ارتفــاع المــوج يــتم حسابه بمعادلة (Molitor) التي شرحت في الشكل (١١/٢) بالنسبة للطول المستقيم (For Fretch) (F) أقل من ٣٢ كيلو متر.

$$(11) \qquad H_w = 0.032\sqrt{V.F} + 0.763 - 0.2714\sqrt{F}$$

بالنسبة للطول المستقيم (F) أكبر من ٣٢ كيلو متر

$$(12) \qquad Hw = 0.032\sqrt{V.F}$$



شكل (١١/٢) ضغط الموج

حيث :

H_w = ارتفاع الأمواج بالمتر.

V = سرعة الريح كيلومتر/الساعة

F = الطول المستقيم لامتداد الماء (كيلومتر)

قوة الضغط بسبب الموج تكون طبقًا للمعادلة

$$Pw = 2.4\ w\ Hw\ (T/m^2) \qquad (13)$$

يعمل عند $\frac{٣}{٨}$ × ارتفاع الموج فوق سطح الماء الساكن

بفرض أن توزيع الضغط يكون ثلاثيًا مع الارتفاع (Triangular With Height)

ويساوي: $\frac{٥}{٨}$ ارتفاع الموج $\frac{5}{8}Hw$.

وإجمالي ضغط الموج Pw هو

$$Pw = 2.4\ w\ Hw \times \tfrac{1}{2} \times \tfrac{5}{8}\ Hw$$

$$= 2\ w\ Hw^2\ (T/m) \qquad (14)$$

(٧) ضغط الطين الرملي: (Silt Pressure))

بالنسبة للطين الرملي أو رواسب التربة في الخزان، ينتج الضغط على وجه السد والذى يحسب بمعادلة (Rankine). سطح الطمي الرملي أو الأرض يفترض أنه أفقيا وموازيا لطبقة الخزان. مقدار ضغط الطين الطفلي يعطى بالمعادلة.

$$Ps = \frac{Ws\,H_s^2}{2}\left(\frac{1-\sin B}{1+\sin B}\right) \qquad (15)$$

حيث:

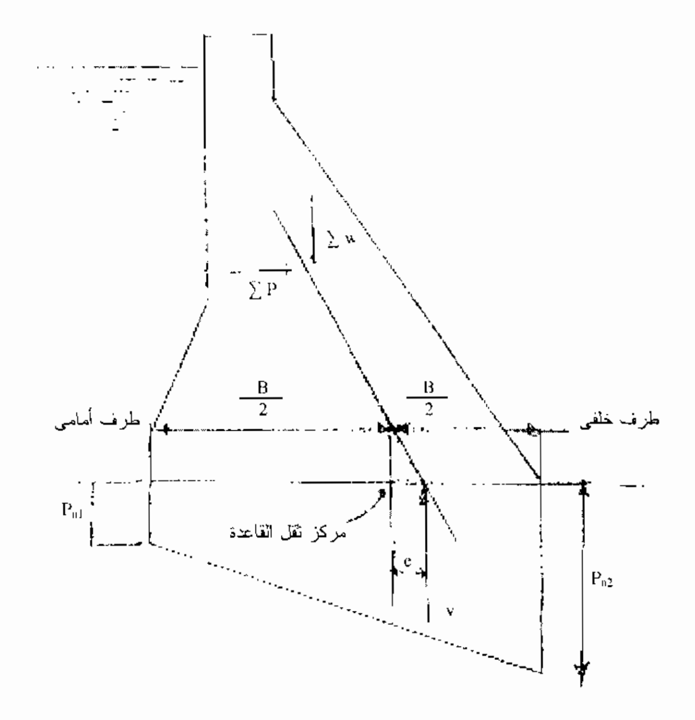
Ws = وحدة الوزن للطين الرملي أو التربة المغمورة في الماء.

B = زاوية الاحتكاك الداخلي، عادة تؤخذ ٣٠° درجة للرمل، والزلط، والطفل. والطين الرملي.

Hs = ارتفاع الطين الرملي المغمور في الماء فوق أساس السد.

(٣) رد فعل الأساسات (Reaction of Foundations)

في السد الثقالي فإن كل القوى التي تم تناولها تنقل إلى الأساس والذي للاتزان الإستاتيكي (الساكن) يجب أن يكون له رد فعل مقابل السد بقوة مساوية ومضادة والتي تسمى رد فعل الأساس. (أنظر الشكل ١). وله مركبتين (Two components)، رأسية وأفقية. المركبة الرأسية (V) هي إجمالي رد الفعل الرأسي والذي يضاد مجموع القوى الرأسية أي ($\sum$ W) التي تعمل على الأساس، بينما المركبة الأفقية (H) هى قوى القص أو الإحتكاك على طول الوصلات فى السدود والأساس والتى تقاوم مجموع القوى الأفقية أى ($\sum$ P). توزيع وحده رد الفعل الرأسي من المؤخر (Heel) إلى مرتكز جدار الدعم (Toe) للسد وجد أنه طولي وموضح تخطيطيًا في الشكل (٣/١١).



شكل (١١/٣) توزيع الضغط العمودى على أساس السد

الإجهاد المتعامد (Normal stress) عند أي نقطة على قاعدة السد (مع أخذ وحـــدة شريحة طولية في مقطع مستطيل للسد) تتكون من الإجهـــاد المباشـــر (Direct stress) وإجهاد الانكسار أو الثني (Flexural or Bending stress) والذي يحسب كالآتي:

$$\text{إجهاد مباشر} = \frac{\Sigma w}{A} = \frac{V}{BX1} = \frac{V}{B} \qquad (16)$$

$$\text{إجهاد الثني} = \pm \frac{MY}{I}$$

$$= \pm \frac{Ve\,B/2}{3} / I.\frac{B3}{12}$$

$$\text{إجهاد الثني} = \pm \frac{6\,Ve}{B_2} \qquad (17)$$

حيث:

A = مساحة القاعدة = $l \times B$

B = عرض القاعدة

M = العزم حول مركز الجاذبية للقاعدة لكل القوى العمودية.

e = الحمل خارج المركز (Eccentricity loading)

I = عزم القصور الذاتي للقاعدة حول مركز جاذبيتها = $l \cdot \frac{B^2}{12}$

Y = المسافة من مركز الجاذبية للقاعدة إلى الكعب أو مرتكز جدار الدعم. أو الجدار الأمامي للسد $(Toc) = \frac{B}{2}$

بجمع المعادلات (16)، (17)، فإننا نحصل على إجمالي الإجهاد المتعامد عند الجدار الأمامي ومؤخره السد.

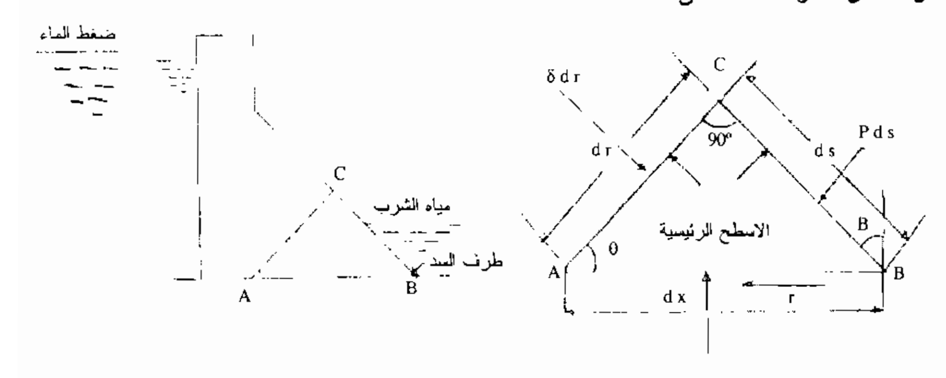
الإجهاد المتعامد عن المؤخرة = $P_{n1} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6e}{B}\right)$ (18)

الإجهاد المتعامد عند الجدار الأمامي = $P_{n2} = \frac{V}{B}\left(1 - \frac{6e}{B}\right)$ (19)

(٤) الإجهادات الرئيسية وإجهادات القص: Principal and shear stresses

يمكن الإشارة إلى أن إجمالي الإجهادات العمودية، وإجمالي أقصى إجهادات ضغط عمودية الموضحة في المعادلة (١٩) ليست أقصى الإجهادات التي تحدث في منشأ السد. أقصى إجهادات تحدث عموديًا على السطوح المائلة (Inclined plants) العمودية على السطح الخارجي (Face) للسد.

لتقدير أقصى إجهادات إفترض مقطع مثلث بسيط (ABC) عند المقدمة أو المؤخرة لمقطع السد بحيث أن القوى يفترض أنها متجانسة على مختلف الوجوه الخارجية للسد (Faces). في الشكل (١٤) المقطع المثلثي (ABC) الموضح عند الطرف الأمامي للسد (TOE) حيث تكون الإجهادات عند أقصاها في حالة امتلاء الخزان.



شكل (١١/٤) مقطع ابتدائى مثلثى

نظرًا لأن ضغط الماء يعمل عموديًا علـــى الـــسطح الخـــارجي BC ولا توجـــد إجهادات قص ناتجة على هذا المستوى، فإن السطح BC (تحت التيار) للسد هو السطح المستوي الرئيسي. كذلك نظرًا لأن الأسطح الرئيسية المستوية تكون مـــشتركة عنـــد زوايا قائمة، فإن السطح (CA) لمقطع المثلث يكون كـــذلك ســـطح مـــستوى رئيـــسي (Principal plane). كلاً السطحين المستويين الرئيسيين (BC) و (CA) عليهما إجهادات رئيسية تعمل عموديًا عليهم.

على فريضة:

P = شدة ضغط الماء على السطح BC بطول ds

δ = الإجهاد الرئيسي على السطح CA بطول dr

P_n = الإجهاد العمودى على السطح AB بطول dx

T = إجهاد القص على طول السطح AB

القوى العمودية على الأسطح BC، CA وAB هي pds، δds، pnd على التوالي.

بفرض طول شريحة طول واحدة للسد وتحليل كل القوى فـــي كـــلا الاتجـــاهين. التحليل في الاتجاه العمودي، فإننا نحصل على:

$$\text{(20)} \qquad Pndx = pds \cos (90^{\circ} - \theta) + \delta\, drsin (90^{\circ} - \theta)$$

$$Pn\ doc = pds \sin \theta + \delta\ dr \cos \theta$$

باستبدال dr = dxcos θ، dxsin θ = ds في المعادلة (٢٠).

والحل فإننا نحصل على:

$$\delta = pn \sec^2 \theta - p \tan^2 \theta \qquad (21)$$

العلاقة الرئيسية للإجهاد في المعادلة (٢١) ينطبق على كل سطحي السد في اتجاه المنبع وفي اتجاه المصب. ولكن، الحالة الشديدة تكون على السطح المواجـه للمنبـع عندما لا يكون هناك ماء منصرف بعد التدوير (Tail water). في هذه الحالـة يكـون الإجهاد الرئيسي (δ) طبقاً للمعادلة:

$$\delta = pn \sec^2 \theta \qquad (22)$$

كذلك مع اعتبار قوى الحراك المائي (Hydrodynamic) على الـسطح المواجـه للمنبع، فإن الإجهاد الرئيسي (δ_u) يعطى كالآتي:

$$\delta w = pn \sec^2 \theta - (p^3 \pm pe) \tan^2 \theta \qquad (23)$$

حيث:

Pe = شدة ضغط الحراك المائي على السطح المواجه للمنبع طبقاً للمعادلة (٨).

بالمثل فإن الإجهاد الرئيسي على السطح المواجه للمصب يكون:

$$\delta = pn \sec^2 \theta (p - pe) \tan^2 \theta \qquad (24)$$

الآن عند تحليل كل القوى في الاتجاه الأفقي فإننا نحصل على:

$$tdx = \delta \, dr \sin \theta - pds \cos \theta \qquad (25)$$

أو

$$t = \delta \sin \theta \; \frac{dr}{dx} - p \cos \; \theta \frac{ds}{dx}$$

باستبدال الآتي:

$$\frac{dr}{dx} \text{ بـــ } \cos \theta \text{ ، } \frac{ds}{dx} \text{ بـــ } \theta$$

فإننا نحصل على:

$$t = (pn - p) \tan \theta \qquad (26)$$

استبدال المعادلة (٢١) في المعادلة (٢٦) والحل، فإننا نحصل على:

(27) $t = (pn - p) \tan \theta$

المعادلة (٢٧) تعطي إجهاد القص عند السطح في اتجاه المصب فقط. بالنسبة للسطح في اتجاه المنبع فإن قيمة (t) تظل نفسها ولكن الاتجاه يكون معكوسًا. وكذلك في حالة عدم وجود مياه منصرفة بعد التشغيل فإن:

(28) $t = pn\tan \theta$

مع اعتبار أن الضغط للحراك المائي (Hydrodynamic) بسبب الزلزال، فإن إجهاد القص عند السطح المواجهة للمصب يكون كالآتي:-

(29) $td = (pn - (p - pe) \tan \theta$

بالمثل: فإن إجهاد القص على السطح المواجه للمنبع يكون كالآتي:

(30) $t_u = (p + pe) \tan \theta$

(٥) معيار الثبات لسدود التثاقل: Stability criteria of Gravity Dams:

لتعيين معيار الثبات لسدود التثاقل يكون من الضروري معرفة الطرق المختلفة لكيفية حدوث الانهيار لسدود التثاقل.

أ – أسباب الانهيار (causes of failure)

السببين الرئيسيين لانهيار سدود التثاقل هي:

(١) الانزلاق (Sliding)

(٢) الانقلاب (Over turning)

وتلك يمكن أن تتم أو تدعم بأسباب أخرى مثل وجود أحمال ضغط عالية تؤدي إلى انهيار السد بالضغط والإنقلاب وشروخ الشد (Tension cracks) في القاعدة المسببة للانهيار بالانزلاق.

الانزلاق (Sliding)

يحدث انهيار السد عند القاعدة على الاتصال الأفقي فوق الأساس أو على الفاصل الأفقي (Horizontal seam) في الأساس، وذلك في حالة أن القوى الأفقية المسببة للانزلاق تكون أكثر من مجموع مقاومة القص (Shear Resistance) للقاعدة أو الوصلة (Joint) والاحتكاك الاستاتيكي (Static Friction) الذي تسببه القوى العمودية.

الانقلاب (over turning)

يحدث الانهيار للسد بالانقلاب عندما تزيد القوى الأفقية عن القوى الرأسية مسببة محصلة كل القوى التي تعمل على السد لتقع خارج جسم السد. لذلك طالما أن المحصلة تقع داخل القاعدة، فإنه سوف لا يحدث انقلاب.

الضغط (compression)

نظرًا لأن محصلة كل القوى الأفقية والرأسية تقترب نحو سطح السد، فإن الإجهاد العمودي عل الطرف الأمامي (لمرتكز جدار الدعم – Toe) سوف يزداد كثيرًا وبسرعة بما يؤدي إلى انهيار بالضغط (compression failure) قبل الانقلاب.

سوف نرى أنه عند زيادة التحميل مختلف المركز (e) عن سدس $\frac{١}{٦}$ عرض القاعدة فإن الضغط العمودي على طرف المؤخرة (Heel) ينعدم بينما الضغط العمودي على المقدمة يصبح ضعف الإجهاد المباشر.

لذلك بوضع $e = \frac{B}{6}$ في المعادلة (١٨) ، (١٩) فإننا نحصل على:

$$p_{n_1} = O \quad (31)$$

$$p_{n_2} = \frac{2V}{B} \quad (32)$$

الشد: (Tension)

يمكن ملاحظة أن أي زيادة في قيمة (e) أكثر من $\frac{B}{6}$ للإجهاد العمودي عند طرف المؤخرة سوف تكون بالسلب أي شد (Tensile). قد تحدث تشققات الشد الأفقي والذي يقلل من قوة القص (Shearing strength) للوصلة (أو الفاصل Joint) أو القاعدة (Base). بجانب أنه مع دخول (Ingress) ضغط عمود الماء خلال تشققات الطبقة الصخرية، فإن قوة الرفع إلى أعلى (Up lift) سوف تزداد بما يقلل من حصيلة رد الفعل ومقاومة الاحتكاك نحو التحرك الأفقي. نتيجة لذلك فإن السد يمكن أن ينهار بالانزلاق.

ب – متطلبات الرسوخ والاستقرار: (Stability Requirement)

طبقًا لأسباب الانهيار التي تم تناولها، فإن متطلبات الرسوخ والاستقرار لسدود التثاقل هي كالآتي:

(١) مقاومة الانزلاق (مع إهمال القص) Resistance To sliding (Neglecting shear)

إجمالي القوة الأفقية ($\sum P$) التي تعمل على السد فوق أي اتصال أفقي تميل إلى انزلاق ذلك الجزء من السد فوق الجزء الأسفل (Lower part). مقاومة القص والاحتكاك للوصلة (أو الفاصل) يمكن أن يكون كافيًا لمقاومة الاستعداد للانزلاق. في حالة السدود الثقالي ذات الحجم المتوسط. فإنه عادة اعتبار قوى الاحتكاك فقط مع إهمال قوى القص والتي تعتبر فقط كإضافة إلى عامل الأمان.

إذا كان قيمة M = معامل الاحتكام الاستاتيكي المسموح به فإن عندئذ تكون (M $\sum W$) هي مقاومة الاحتكاك للانزلاق

$$M \sum W \geq \sum P$$

$$\frac{\Sigma P}{\Sigma W} = \tan a \leq M \qquad (33)$$

أو

حيث:

a = الزاوية بين القوى الرأسية والمحصلة. مقدار M يتغير ما بين ٠,٦ – ٠,٧٥ للمباني والأساس الصخري الجيد.

المعادلة (٣٣) التي تعطي متطلبات الرسوخ المطلوب يمكن تفسيرها وتعليلها طبيعيًا كالآتي:

المماس للزاوية مابين القوة الرأسية ومحصلة كل القوى بما فيها قوة الدفع العلوي (Uplift) التي تعمل على السد فوق أي مستوى (أو سطح) أفقي ستكون أقل من معامل الاحتكاك المسموح به عند هذا المستوى (السطح).

إعادة كتابة المعادلة (٣٣) تعطي

$$\text{F.S.} = \frac{M}{\tan a} \geq 1 \qquad (34)$$

أي معامل الأمان (F.S.) ضد الانزلاق مع اعتبار الاحتكاك فقط يجب أن لا يقل عن واحد.

(٢) مقاومة الانزلاق (مع أخذ القص في الاعتبار)

Resistance to sliding (considering shear)

لقد وجد أنه بينما تتغير كل القوى الأفقية والعمودية مع مربع ارتفاع السد، فإن مقاومة القص تتغير مع ارتفاع السد. بالتالي، فإن سلامة السد تقل مع زيادة الارتفاع ولذلك توجد الحاجة إلى تضمين عامل القص في حالة السد العالي.

متطلبات الرسوخ سوف تكون عندئذ مجموع ومقاومة الاحتكاك. عى الانزلاق على أي اتصال (Joint) وأن أقصى قوة قص للاتصال سوف تكون أكبر من إجمالي القوى الأفقية لتلك الوصلة بمقدار آمن.

بالتقدير الجبري:

$$\Sigma P = \frac{M\,\Sigma W + SB}{\text{F.S.S.}}$$

$$(35) \qquad F.S.S = \frac{M\,\Sigma W + SB}{\Sigma P}$$

حيث:

F.S.S = معامل احتكاك القص الآمن (Shear Friction Factor For Safety)

S = متوسط قوة القص للاتصال. أقصى قوة قص عمومًا تتراوح ما بين ١٤٠ طن/المتر المربع إلى ٥٠٠ طن / المتر المربع طبقًا لنوع الصخر. لأغراض التصميم الاقتصادي فإن معامل احتكاك القص الآمن (F.S.S) يجب أن يكون أكثر من (٤).

(٣) إجهادات الضغط: (Compressive stresses)

لمنع انهيار السد بالضغط أو الكسر (crushing)، يكون من الضروري أن أقصى إجهاد ضغط في أي مكان في السد لا يزيد عن إجهاد الضغط الآمن. نظرًا لأن معظم الإجهاد الرئيسي يكون أقصى إجهاد ضغط قائم فعلاً، فإنه لذلك أن معظم الإجهاد الرئيسي يجب ألا يزيد عن أقصى إجهاد ضغط (f) أي

$$(36) \qquad p \le f$$

يعتمد أقصى إجهاد ضغط مسموح به على إجهاد الكسر (crushing strength) للخرسانة والذي يمكن أن يكون من ٥٠٠ – ٦٠٠ طن/المتر المربع.

(٤) الشد الداخلي (Internal Tension)

في حالة حدوث شد في أي مكان في مقطع السد، فإنه تظهر شقوق الشد نظرًا لأن البناء أو الخرسانة أعيقًا في مقاومته للشد. كما سبق توضيحه، فإن هذا سوف ينتج عنه في حالة أن تكون $e \rangle \frac{B}{\sigma}$. لذلك فإنه لعدم حدوث شد فإن (e) يجب أن تكون أقل من $\frac{B}{\sigma}$ أو بمعنى آخر، فإن المحصلة يجب أن تقع دائمًا خلال الثلث الأوسط. وهذا يسمى بقانون الثلث الأوسط (Middle Third Rule) ويعتبر حالة شديدة الأهمية في تصميم السدود. ولكن، يكفي الإشارة إلى أنه في حالة السدود

الخرسانية العالية، فإن الشد القليل خلال الحدود المسموح بها يمكن أن يقبل بدون أي عواقب وخيمة. إجهادات الشد يجب أن لا تكون عالية عن ٥ كيلوجرام/سم^2 في حالات أقصى تحميل شديد.

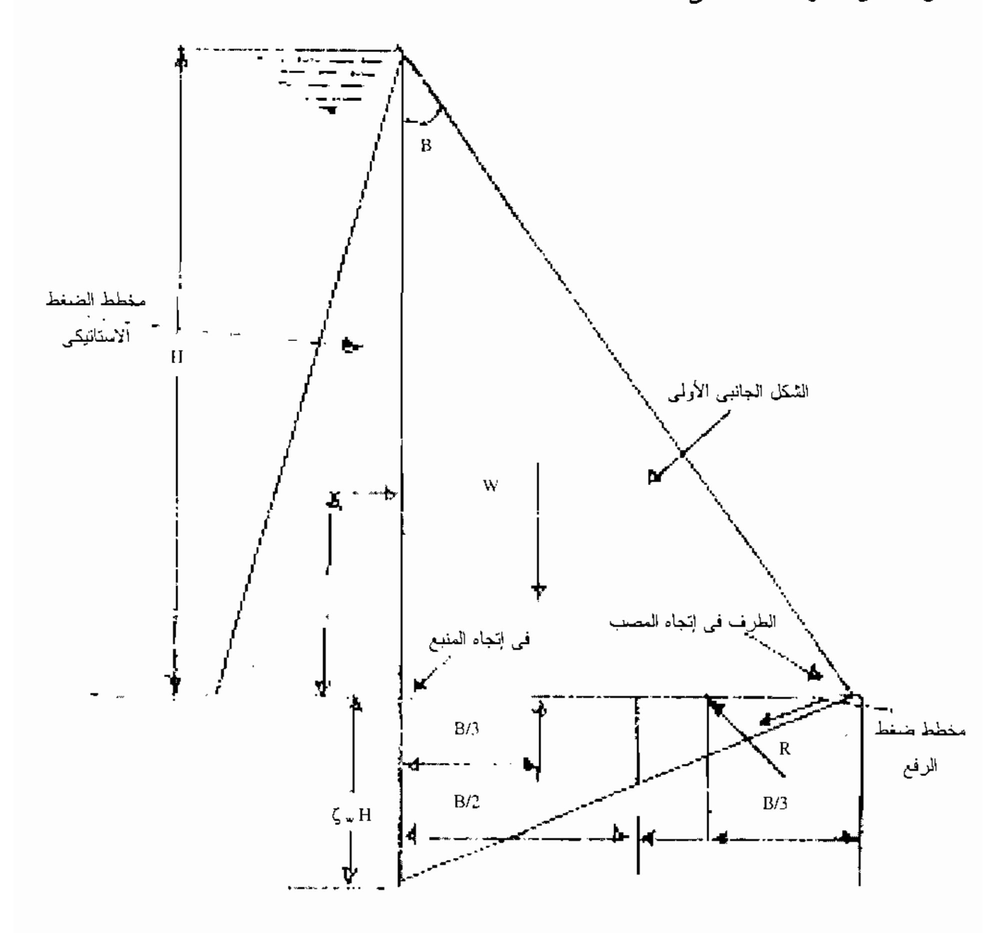
(٥) الانقلاب (Overturning)

الانقلاب يحدث عندما تكون محصلة كل القوى على السد تقع خارج قاعدة السد – للاستقرار والرسوخ، فإن السد يجب أن يكون آمناً ضد الانقلاب مع توفير عامل أمان مناسب بالإضافة إلى قواعد الأمان لانزلاق الشد (Sliding Tension)، وأقصى إجهادات ضغط.

عامل الأمان لمقاومة الانقلاب يعرف بأنه نسبة عزوم الاستقرار والرسوخ (Stabilization Moments)، إلى عزوم الإنقلاب حول الطرف الأمامي للسد (TOE) ولا تقل عن ١,٥.

(٦) الشكل الجانبي الابتدائي لسد التثاقل: Elementary Profile of A Gravity Dam

الشكل الجانبي الابتدائي لسد التثاقل هو المقطع المثلثي (Trainglular section) الذي له العرض يساوي صفر عند منسوب المياه حيث الضغط الهيدروستاتيكي للماء يساوي صفر، وأقصى عرض للقاعدة (B) حيث يعمل أقصى ضغط هيدروستاتيكي شكل (٥/١١). لذلك فإن الشكل الجانبي الابتدائي لسد التثاقل يشبه مخطط الضغط الهيدروستاتيكي نظرًا لأن الوزن (W) يعمل عند مسافة $\left(\frac{B}{3}\right)$ من السطح المواجه للمنبع، فإن الشكل الجانبي لمثلث الزاوية القائمة يوفر أقصى قوة استقرار ورسوخ الانقلاب بدون أن يسبب شد عند القاعدة. ولكن في حالة توفير أي شكل جانبي مثلثي بخلاف الشكل الجانبي المثلثي بالزاوية القائمة، فإن وزنه ما زال يعمل قريبًا من السطح المواجه للمنبع والذي يمكن أن يوفر قوة استقرار ورسوخ أعلى ولكن قد يسبب الشد عند طرق المقدمة (TOE).



شكل (١١/٥) الشكل الجانبى الأولى للسد الثقالى

القوى التي تعمل على الشكل الجانبي الابتدائي هي:

١- وزن السد $W = \frac{1}{2} B\,H\,Y\,W$ (37)

حيث: Y = الجاذبية الفرعية لمادة السد.

٢- الضغط الهيدروستاتيكي $P = \frac{1}{2} W\,H^2$ (38)

٣- ضغط الرفع (Uplift) $W_u = \frac{1}{2} \zeta\,B w\,H$ (39)

(أ) حساب عرض القاعدة (Calculation of Base Width)

عرض القاعدة (B) يوجد في حالتين:

- معيار الإجهاد (Stress Criterion)
- معيار الانزلاق (Sliding Criterion)

معيار الإجهاد:

في حالة الخزان تام الملئ وعدم وجود شد، فإن محصلة رد الفعل يجب أن تمــر عند النقطة الثالثة الخارجية (Outer Third Point). مع أخذ عزوم القوى حول هذه النقطة و المساواة بصفر، فإننا نحصل.

$$P \times \frac{H}{3} + Wu \times \frac{B}{3} - W \times \frac{B}{3} = 0$$

استبدال تلك القوى من المعادلة رقم (٣٧) خلال رقم (٣٩) فإننا نحصل على:

$$\frac{1}{2} W H^2 \times \frac{H}{3} + \frac{1}{2} \zeta \, Bw \, H \times \frac{B}{3} - \frac{1}{2} BHY \, W \times \frac{B}{3} = 0 \qquad (41)$$

بالضرب في $\frac{6}{wH}$ والحل.

$$B = \frac{H}{\sqrt{Y - \zeta}} \qquad (42)$$

معيار الانزلاق:

لعدم حدوث الانزلاق، فإن القوى الأفقية المسببة للانزلاق يجب أن تتعادل مع قوى الاحتكاك المقاومة.

$$P = M\,(w - Wu) \qquad (43)$$

مع الاستبدال من المعادلة (٣٧) خلال (٣٩) ومع الحل

$$B = \frac{H}{M\left(Y - \zeta\right)} \qquad (44)$$

أدنى عرض للقاعدة يكون أكبر من المقادير المعطاة في المعادلة (٤٢) والمعادلـــة (٤٤).

مثال – ١:

عين أقصى عرض قاعدة للشكل الجانبي الابتدائي لسد التثاقل بالبيانات الآتية:

الجاذبية النوعية لمادة السد = ٢,٤

معامل شدة الرفع لأعلى = ١

معامل الاحتكاك الاستاتيكي = ٠,٧٥

الحل:

مع استبدال قيم البيان في المعادلة (٤٢) فإننا نحصل على

$$B = \frac{H}{\sqrt{2.4 - 1}} = 0.84\ H$$

مع استبدال قيم البيان في المعادلة (٤٤) فإننا نحصل على

$$B = \frac{H}{0.75\,(2.4 - 1)} = 0.95\ H$$

لذلك:

فإن أدنى عرض للقاعدة سوف يكون ٠,٩٥ ضعف الارتفاع للسد.

(ب) الإجهادات الناتجة في الشكل الجانبي الابتدائي:

Stresses Developed In The Elementary Profile:

الإجهاد العمودي على طرف المؤخرة والمقدمة للسد تم الحـــصول عليهمـــا مـــن المعادلات = (١٨) ، (٢٩) والتي يمكن وضعهم في الشكل العام.

$$Pn = \frac{V}{B}\left(1 \pm \frac{6e}{8}\right) \qquad (45)$$

بالنسبة للشكل الجانبي الابتدائي، فإن المقدار الآتية:

$$V = W - Wu \text{ and } e = \frac{B}{6}$$

يمكن استبدالهم في المعادلة (٤٥) للحصول على الإجهاد العمودي عند الطرف الخلفي والطرف الأمامي للسد عند الامتلاء الكامل للخزان.

$$(46) \qquad P_{nh} \frac{W - Wu}{B}(1 - 1) = 0$$

$$(47) \qquad P_{nt} = \frac{2(W - Wu)}{B}$$

باستبدال القيم W , Wu فى المعادلة (٣٧) ، (٣٩) في المعادلة (٤٧) والحل فإننا نحصل على:

$$(48) \qquad Pnt = wH(Y - \zeta)$$

الإجهاد الرئيسي عند الطرف الأمامي يتم الحصول عليه من المعادلة (٢١) وذلك بوضع P = 0 (لا يوجد ماء منصرف سفلي (No Water Tail)).

$$(49) \qquad \delta = Pnt\ Sac^2\theta$$

$$= Pnt(\tan^2\theta + 1)$$

استبدال tan 0 بـ $\frac{B}{H}$ باستخدام المعادلة (٤٢) والمعادلة (٤٨) والحل

$$(50) \qquad \delta = w\,H(Y - \zeta + 1)$$

إجهاد القص عند الطرف الأمامي يتم الحصول عليه من المعادلة (٢٨) كالآتي:

$$t = Pnt \ \tan\theta$$

استبدال (Tan θ) بـ $\frac{B}{H}$ واستخدام المعادلة (٤٢) و (٤٨) والحل:

$$(51) \qquad t = w\,H\frac{H}{\sqrt{Y - \zeta}}$$

حيث أن الإجهاد العمودي عند الطرف الخلفي (Heel) يساوي صفر، فإن كلاً من الإجهاد الرئيسي (Principal stress) وإجهاد القص عند الطرف الخلفي يساوي صفر.

(حـ) حد الارتفاع للسد (Limiting Height of Dam)

الإجهاد الرئيسي عند طرف مقدمة السد كما في المعادلة (٥٠) هو:

$$\delta = wH\,(Y - \zeta + 1)$$

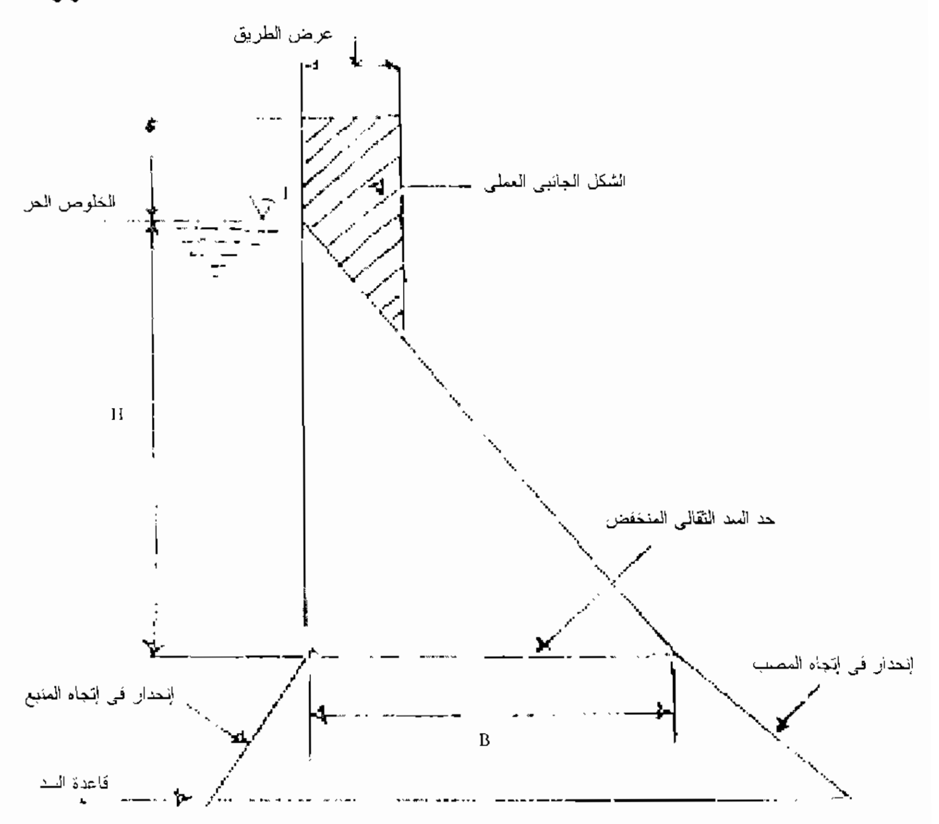
معيار الاستقرار والرسوخ للسد يتطلب أن أقصى قيمة للإجهاد الرئيسي يجب أن لا تزيد عن الإجهاد المسموح به (fa) للمادة. في حالة الحد لأكبر ارتفاع.

$$fa = \sigma = w\,H\,(Y - \zeta + 1) \qquad (52)$$

حد الارتفاع للسد (H_l) سيتم عندئذ تعيينه كالآتي:

$$H_l = \frac{fa}{w(Y - \zeta + 1)} \qquad (53)$$

هذا يعني أنه إذا كان السد أعلى عن مقدار الحد الأعلى للارتفاع، فإن الإجهاد الرئيسي سوف يزيد عن الإجهاد المسموح به. لذلك، فإن لوضع الإجهاد الرئيسي تحت الحدود كما في حالة السدود العالية، فقد يكون من الضروري التغيير المناسب لمقطعه وذلك بإعطاء ميل زائد (Extra Slope) للأجناب في اتجاه المنبع وفي اتجاه المصب أسفل حد الارتفاع (انظر الشكل ١١/٦).



شكل (٦/١١) السدود العالية والمنخفضة

المعادلة (٥٣) تعرف التمييز بين سد التثاقل العالي والمنخفض. لذلك فإن السد الذي فيه الارتفاع (H) يكون أقل عن ذلك المعطى في المعادلة (٥٣) يسمى سد التثاقل المنخفض (Law Gravity Dam) بينما السد حيث يكون فيه الارتفاع منشأ بما يزيد عن المعطى في المعادلة (٥٣) يسمى سد التثاقل العالي (High Gravity Dam).

مثال:

سد التثاقل المصمت (Solid Gravity Dam) يتم إنشاؤه من الخرسانة ٤ : ٢ : ١ له البيان التالي:

عامل الأمان = ٤

الجاذبية النوعية لمادة السد = ٢,٤

معامل شدة الرفع = ٠,٦٧

يتم تعيين الارتفاع الذي يمكن أن يصل إليه إنشاء السد كسد منخفض. كذلك عـين عرض قاعدته.

مع مراعاة أن أقصى إجهاد ضغط للخرسانة ٤ : ٢ : ١ = ١٦٠كجرام/سم٢

الحـل:

إجهاد الضغط المسموح به

$$fa = \frac{160}{4} = 40\, kg/cm^2 = 400\, T/m^2$$

$$Y = 2.4$$

$$\zeta = 0.67$$

$$w = 1000\, kg / m^3 = IT / m^3$$

بالاستبدال في المعادلة (٥٣)

$$H_L = \frac{400}{1\,(2.4 - 0.67 + I)} = 146.5\, m$$

عرض القاعدة يعطي بالمعادلة (٤٢)

$$B = \frac{146.5}{\sqrt{2.4 - 0.67}} = 111\, m$$

(٧) الشكل الجانبي العملي لسد التثاقل: Practical Profile of Gravity Dam

الشكل الجانبي الأولي لسد التثاقل هو فقط شكل جانبي نظري. السد الذي له قمـة في شكل طرف أو قمة المثلث (Apex of A triangle) ليس عمليًا وذلك للأسـباب الآتية:

(١) عند الرغبة في عبور الوادي عند موقع السد، فإنه يلزم عمل طريق أعلى قمة السد.

(٢) بسبب وجود الطريق، فإنه يجب أن يراعى الحمل الإضافي في تصميم قمـة السد والذي يتطلب السمك المناسب. كذلك فإن هذا المقطع يجب أن يكون قويًا

بما يكفي لمقاومة صدمات الأجسام الطافية في الماء مثل جذوع الأشجار..إلخ..

(٣) يجب أن يكون الطريق بالعرض الكافي لإمكان تشغيل البوابة في حالة السد العالي.

(٤) لمنع حدوث الطرطشة للموجات بفعل حركة الرياح والصعود فوق القمة للسد، فإنه قمة السد يجب أن تكون فوق أقصى منسوب للخزان. أي أن السد يجب أن تتوفر له خلوص حر (Free Board).

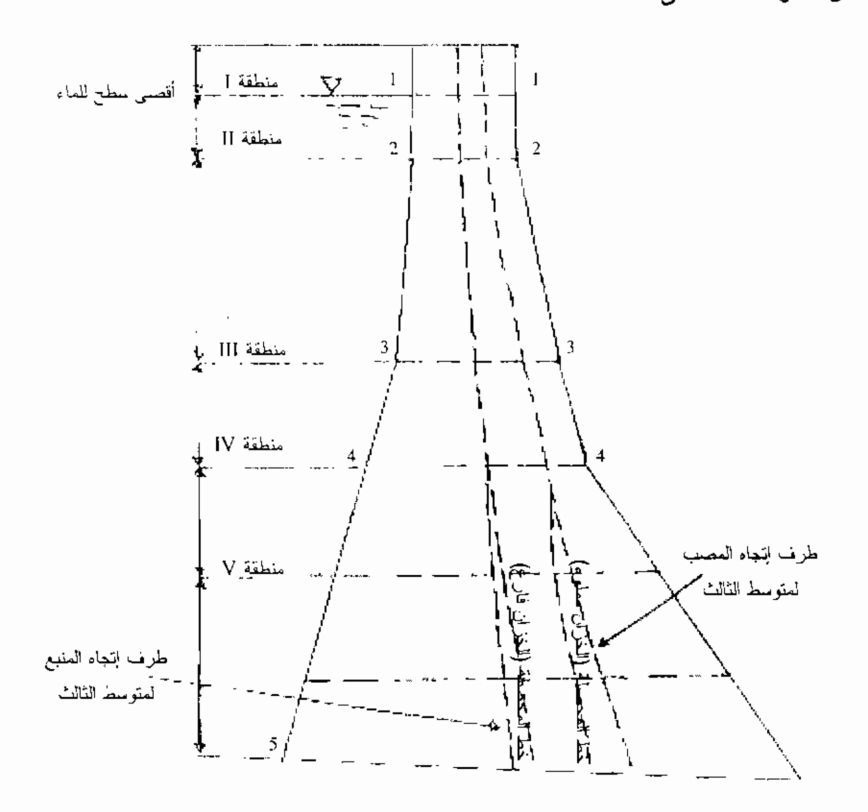
لذلك فإن الشكل الجانبي العملي للسد يجب أن يكون له العرض المناسب عند القمة لحمل الطريق والخلوص الحر الكافي (شكل ١٤٦) – عرض قمة سد التثاقل يتراوح من ٠,١٥ الارتفاع للسدود المنخفضة إلى العرض الضروري لحركة المرور فوق موقع السد. عرض القمة من ٥ – ٦ متر يعتبر مقبول بالنسبة لسدود التثاقل.

(٨) تحليل سد التثاقل: (Analysis of Gravity Dam)

تحليل سد التثاقل يتم بأخذ مقطع خاص للسد له وحدة عرض (Unit Width). كل الأحمال المختلفة التي تعمل على السد والإجهادات الناتجة يتم حسابها لمراجعة معيار استقرار ورسوخ سد التثاقل كما تم توضيحه في الفقرة (٤). لأغراض التحليل فإنه عادة تستخدم طريقة الخطوة – خطوة – أو طريق المناطق (Zoning)، ولكن للحصول على نتائج سريعة وتقريبية فإنه تستخدم طريقة الخطوة خطوة.

أ – طريقة الخطوة – خطوة (Step by Step Method)

في هذه الطريقة يتم التحليل الإنشائي خطوة خطوة من القمة إلى القاع لمقطع السد في حالتي امتلاء الخزان وحالات خلو الخزان من المياه. مقطع السد يتم تقسيمه إلى عدد من المناطق طبقاً للتغير في الإجهادات انظر الشكل (١١/٧).



شكل (١١/٧) طريقة المناطق خطوة بخطوة

<u>المنطقة رقم (I):</u> تلك هي جزء السد فوق أعلى منسوب للمياه أو في حالة وجود ثلج، تكون فوق قاع طبقة الثلج. في حالة الثلج، يتم تصميم السد ليتحمل ضغط الثلج. وفي حالة عدم وجود الثلج، فإن ارتفاع المنطقة (I) يتم إحكامه بمتطلبات الخلوص الحر أساسًا بسبب فعل الموج. وعرض السد يتحدد بالاعتبارات العملية أو الاقتصادية للمقطع ككل.

<u>المنطقة رقم (II):</u> تلك هي المنطقة حيث تظل فيها أسطح السد عمودية في اتجاه المنبع وفي اتجاه المصب. حده (٢-٢) الشكل (١١/٧) يتحدد بضبط ارتفاعه بحيث أن المحصلة تمر خلال الثلث المتوسط على جانب اتجاه المصب في حالة الامتلاء للخزان.

المنطقة (III): في هذه المنطقة، يبدأ السطح المواجه للمصب ليكون له ميل أو انحدار بغرض أن المحصلة يجب أن تمر خلال منتصف الثلث (Middle Third) فـــي حالة الخزان الممتلئ. في حالة الخزان الفارغ، تظل المحصلة خلال منتـصف الثلث مع السطح المواجه للمنبع عموديًا حتى الحد (٣- ٣) ويتقاطع عند نهايــة اتجاه المنبع لمنتصف الثلث (Upstream Extremityof the Hiddle Third).

المنطقة (IV): في هذه المنطقة، يبدأ السطح المواجه للمنبع كذلك في الانحدار حــدوده هي (٤-٤) إلى أسفل والتي تتحدد طبقًا لحالة حدود ميل الضغط أي إن وحــدة إجهادات الضغط المائل يجب أن لا تزيد عن المقادير السابق تحديدها.

المنطقة (V): في هذه المنطقة، يبدأ السطح المواجه للمصب فـــي الاســتواء (Flatten) للمحافظة على الضغط المائــل (Inclined Pressure) علـــى الــسطح المواجــه للمصب خلال حدود العمل لحالات الخزان الممتلئ والخزان الفارغ.

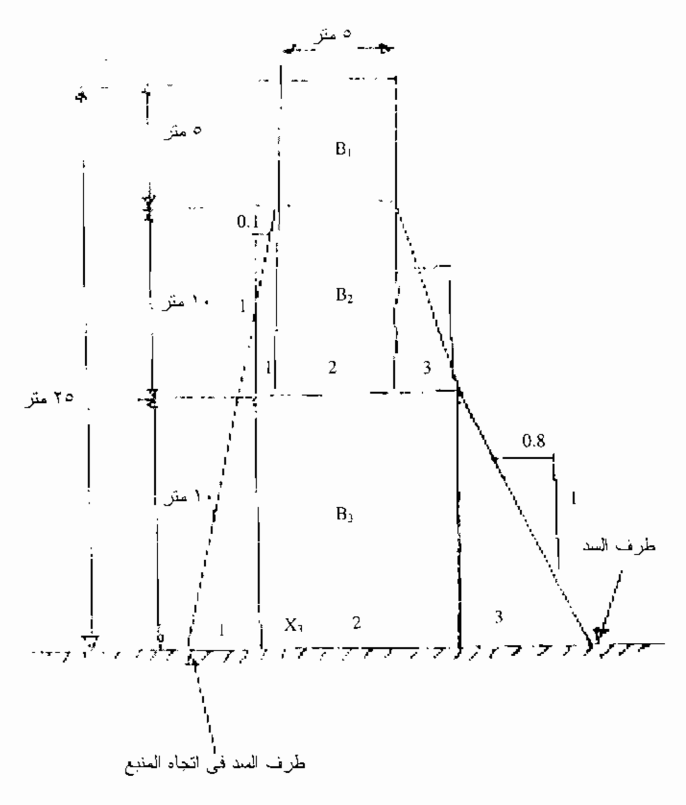
قد توجد مرحلة حيث مع زيادة الانحدار على الأسطح في مواجهة المنبـــع وفـــي مواجهة المصب، فإنه يكون من غير الممكن احتواء أقصى ضـــغط علـــى الطــرف المواجه للمصب (Downstream Toe) خلال حدود عمله والتي سوف تتطلب عندئذ إما مراجعة كاملة لكل التصميم أو خفض ارتفاع السد.

مثال:

الشكل (٨/١١) يوضح مقطع لسد ثقالي. باستخدام طريقة الخطوة خطوة، راجـــع استقرار ورسوخ مقطع السد بالبيانات الآتية:

- عمق الماء = ٢٥ متر
- لا يوجد خلوص حر.
- يتم إهمال تأثير الزلزال.
- معامل قوة الرفع = ٠,٥.
- معامل الاحتكاك = ٠,٦٥.

- وحدة الوزن للخرسانة = ٢٤٠٠كجرام/م٣.
- أقصى إجهادات مسموح بها في ضغط السد الخرساني = ٥٠٠ طن/المتر المربع، الشد = ٥٠ طن/المتر المربع، القص = ٢٥٠ طن/المتر المربع.



شكل (١١/٨) السد الثقالى (مقطع للمثال)

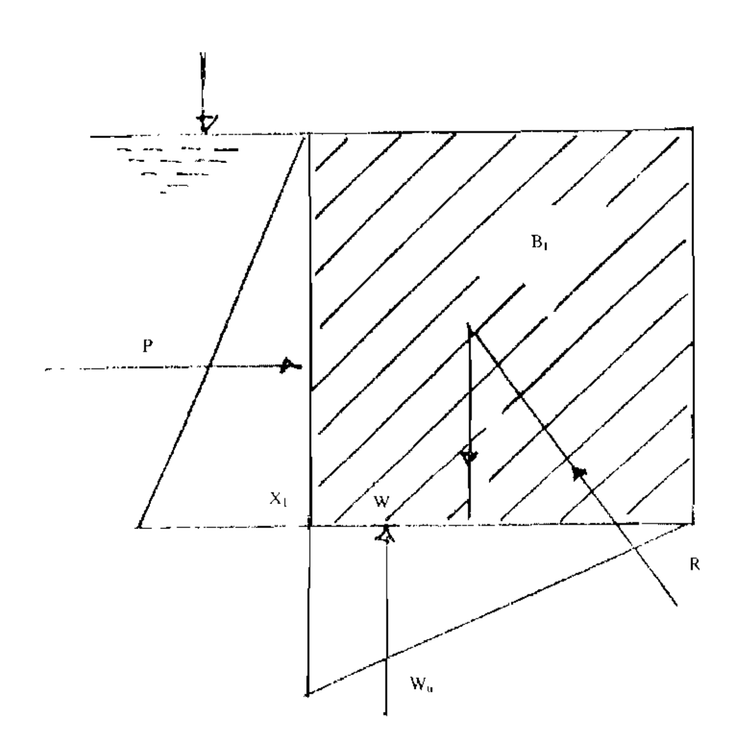
الحــل:

<u>الخطوة رقم (I):</u> بالتقدم من القمة إلى القاع، الكتلة B_1 للمنطقة (I) يتم تحليلها أولاً كل القوى التي تعمل على الكتلة تعتبر خلال مخطط الجسم الحر (Free Body Diagram). القوى التي تعمل على الكتلة، قدرتهم الزراعية أو فعالية الرافعة (Leverage) والعزم الناتجة يتم حسابها وجدولتها. تحليل الاستقرار يتم عندئذ عمله كما تمت الإشارة إليه في الفقرة (٥).

الخطوة رقم (II): الكتل B_1 و B_2 للمناطق (I) و (II) يتم عندئذ أخذهم معًا. القوى التي تعمل متصلة عليهم وعزومهم يتم حسابها وجدولتها وعمل إجراءات مراجعة الاستقرار والرسوخ.

الخطوة رقم (III): يتم اعتبار الكتل B_1 و B_2 و B_3 معًا وتكرار الطريقة السابقة لاختبار المقطع ككل من القمة إلى القاع للسد لاستقراره ضد قوى عدم الاستقرار وعزومها والإجهادات الناتجة.

الكتلة (1): أخذ العزوم حول الاتصال (X_1) للسطح المواجه للمنبع الشكل (٢/٩)، حسابات الاستقرار مبينة في الجدول (١).



شكل (١١/٩) مخطط الجسم الحر للكتلة B_1 مع الخزان الممتلئ

جدول (١) حسابات الاستقرار للكتلة (١)

م	البند المادة	الوصف والأبعاد	القوة (كجرام) أفقية رأسية	عزم الرافعة الذراع (متر) (متر كجرام)
١	W	وزن وحدة العرض للكتلة B1 ٢٤٠٠×١×٥×٥ =	٦٠٠٠٠	$\frac{٥}{٢}$ ١٥٠٠٠٠
٢	Wu = 0.5 WH/2A = 0.25 WH A	الرفع العلوي (Uplift) = ١×٥×٥×١٠٠٠×٠,٢٥	٦٢٥٠ –	$\frac{٥}{٣}$ – ١٠٤١٦
٣	$P = \frac{W H^2}{2}$	ضغط الماء = $\frac{1000 \times 5^2}{2}$	١٢٥٠٠	$\frac{٥}{٣}$ ٢٠٨٣٣
			٥٣٧٥٠	١٦٠٤١٧

ذراع الرافعة للمحصلة (Lever Arm of Resultant) = $\frac{١٦٠٤١٧}{٥٣٧٥٠}$ = ٢,٩٨ متر

لا مركزية التحميل (e) = ٢,٩٨ – ٢,٥ = ٠,٤٨ متر (في منتصف الثلث) باستخدام المعادلات (١٨)، (١٩).

P_{n1} = الضغط العمودي على السطح المقابل للمنبع أو الطرف الخلفي =

$\frac{٥٣٧٥٠}{٥}$ $\frac{(١-٦×٠,٤٨)}{٥}$ = ٤,٥٦ طن / المتر المربع.

P_{n2} = الضغط العمودي على السطح المواجه للمصب أو الطرف الأمامي

= $\frac{٥٣٧٥٠}{٥}$ $\frac{(١+٦×٠,٤٨)}{٥}$ = ١٦,٩ طن/المتر المربع

معامل الأمان ضد الإنقلاب:

معامل الأمان = $\frac{\text{مجموع عزوم الإنقلاب}}{\text{مجموع عزوم الإستقرار}}$

= $\frac{١٥٠٠٠٠ + ٢٠٨٣٣}{١٠٤١٦}$

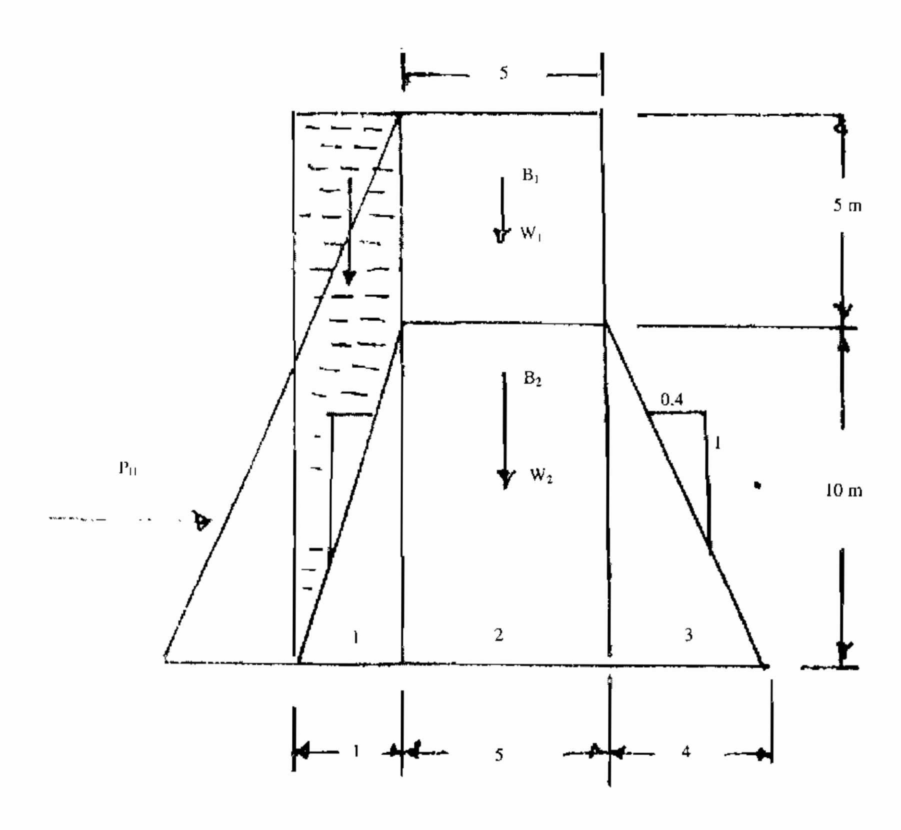
= ١,٥٢١٦,٤ لذلك يكون آمناً.

معامل الأمان ضد الانزلاق:

معامل الأمان = $\frac{٥٣٧٥٠ \times ٠,٦٥}{١٢٥٠٠}$ = ٢,٨ > ١ لذا فهو آمن.

الكتلة B_1 و B_2

يأخذ العزوم حول السطح المواجه للمصدر الوصلة (X_2) الشكل (١٠) فإن حسابات الاستقرار موضحة في الجدول (٢).



شكل (١٠/١١) مخطط الجسم الحر للكتل B_1، B_2 والخزان ممتلئ

جدول حسابات الاستقرار للكتلة B_1 و B_2

م	البند	الوصف والأبعاد	القوة (كجرام) أفقية رأسية	ذراع الرافعة متر	العزم متر كجرام
١	٢	٣	٤	٥	٦
		الكتلة B_1			
١	W_1	٢٤٠٠ × ١ × ٥ × ٥	٦٠٠٠٠	٢/٧	٢١٠٠٠٠
٢	W_2	الكتلة B_2			
	W_{21}	المثلث I			
		(٢٤٠٠ / ٢) × ١٠ × ١	١٢٠٠٠	٣/٢	٨٠٠٠
	W_{22}	المستطيل (٢)			
		٢٤٠٠ × ١٠ × ٥	١٢٠٠٠٠	٢/٧	٤٢٠٠٠٠
	W_{23}	المثلث (٣)	٤٨٠٠٠	٣/٢٢	٣٥٢٠٠٠
		٢٤٠٠ × ١٠ × ٤ × ½			
٣	Wu	١٠×١٥×١٠٠٠×٠,٢٥ = Wu	-٣٧٥٠	٣/١٠	-١٢٥٠٠٠
٤	P	(١٥^٢×١٠٠٠) / ٢ = P_{11}	١١٢٥٠٠	٣/١٥	٥٦٢٥٠٠
		١ × ٥ × ١٠٠٠ = Pv	٥٠٠٠	٢/١	٢٥٠٠
		(١٠ / ٢) × ١٠٠٠	٥٠٠٠	٣/١	١٦٦٧
		الخزان ممتلئ	٢١١٢٥٠٠		١٤٣١٦٦٧
		الخزان فارغ	٢٤٠٠٠٠		٩٩٠٠٠٠

في حالة امتلاء الخزان:

اللاتمركز (Eccentricity) (e) = ١٤٣١٦٦٧ / ٢١١٢٥٠٠ = ١٠ / ٢ = ١,٧٤متر

الإجهادات العمودية (Normal Stressed)

عند الطرف الخلفي: (Heel)

P_{n1} = (٢١١٢٥٠٠ / ١٠) × ((١-٦×١,٤٧) / ١٠)

= -٩٣٥ كجرام / المتر المربع = ١ طن / متر مربع (الشد) أقل عن أقصى المسموح به.

عند الطرف الأمامى: (Toe)

$$P_{n2} = \frac{٢١٢٥٠٠}{١٠} \frac{(١,٤٧×٦+١)}{١٠}$$

= ٤٣٤٣٥ كجرام / المتر المربع = ٤٣,٤ طن / المتر المربع.

معامل الأمان ضد الإنقلاب:

$$\text{معامل الأمان} = \frac{١٢٥٠٠٠ + ١٤٣١٦٦٧}{١٢٥٠٠٠} = ١٢,٤٥ > ١,٥$$

معامل الأمان ضد الإنزلاق:

$$\text{معامل الأمان} = \frac{٢١٢٥٠٠ \times ٠,٦٥}{١١٢٥٠٠} = ١,٢٢ > ١$$ لذلك يكون آمنا

فى حالة الخزان الفارغ:

$$e = \frac{٩٩٠٠٠٠}{٢٤٠٠٠٠} - \frac{١٠}{٢} = - ٠,٨٧$$ متر فى منتصف الثلث.

العلامة السالبة تعنى أن اللاتمركز نحو السطح فى إتجــاه المنبــع أو الطــرف الخلفى.

عند الطرف الخلفي (Heel):

$$P_{n1} = \frac{٢٤٠٠٠٠}{١٠} \frac{(٠,٨٧×٦-١)}{١٠}$$

= ١١٤٧٢ كجرام / المتر المربع

= ١١,٥ طن / المتر المربع

عند الطرف الأمامى (Toe):

$$P_{n2} = \frac{٢٤٠٠٠٠}{١٠} \frac{(٠,٨٧×٦+١)}{١٠}$$

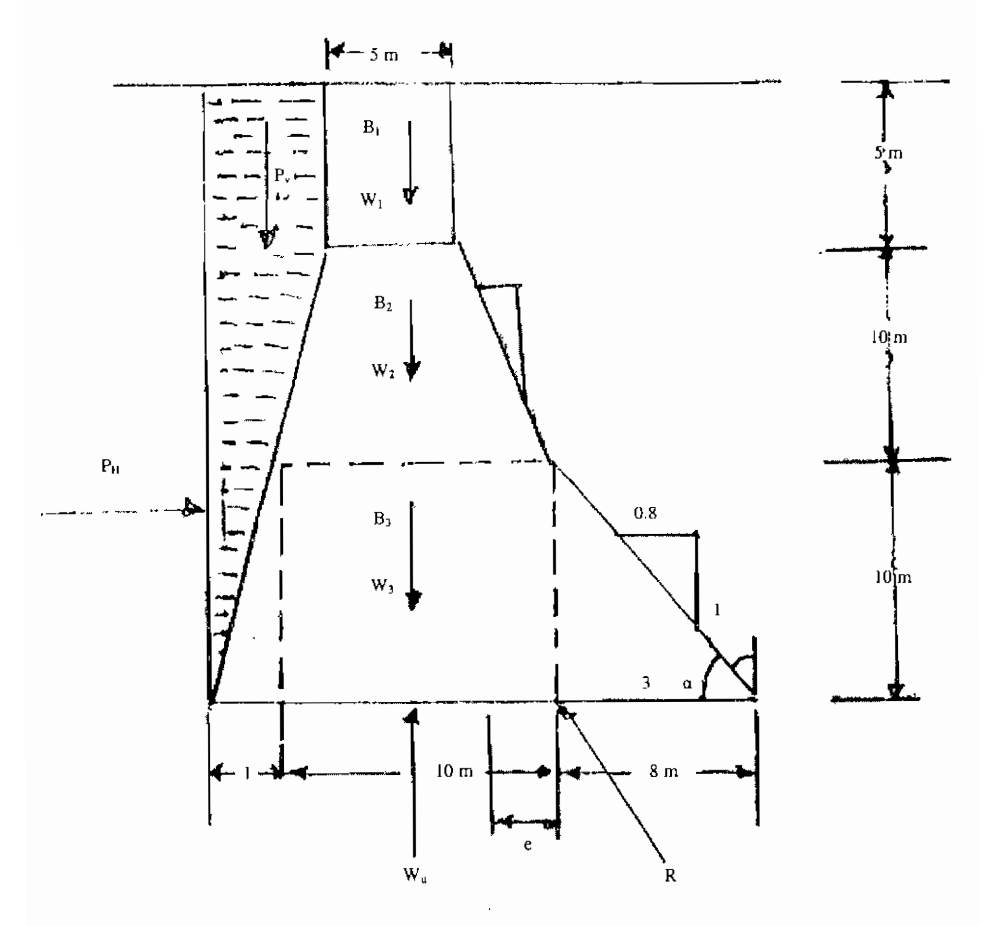
= ٣٦٥٢٨ كجرام / المتر المربع

= ٣٦,٥ طن / المتر المربع

عندما يكون الخزان فارغا فإنه لا يوجد عزم إنزلاق أو إنقلاب. لذلك فإن الـــسد يكون آمنا ضد الإنزلاق والإنقلاب.

الكتل B_1، B_2، B_3:

مع أخذ العزوم حول السطح المواجه للمنبع الإتـــصال X_3 (أنظـــر الـــشكل ١١). حسابات الاستقرار موضحة فى الجدول ٣.



شكل (١١/١١) مخطط الجسم الحر للكتل B_1، B_2، B_3

جدول ٣ حسابات الاستقرار للكتل B_1 و B_2 و B_3

م	البند	الوصف والأبعاد	القوة (كجرام) أفقية رأسية	ذراع الرافعة متر	العزم متر كجرام
١،٢	W_1، W_2	الوزن الذاتى للكتلة	٦٠٠٠٠	٢/٩	٢٧٠٠٠٠
		B_1 و B_2	١٢٠٠٠٠	٣/٥	٢٠٠٠٠
			١٢٠٠٠٠٠	٢/٩	٥٤٠٠٠٠
			٤٨٠٠٠٠	٣/٢٥	٤٠٠٠٠٠
٣	W_3	الكتلة B_3			
	W_{31}	½ × ١٠ × ٢٤٠٠	١٢٠٠٠٠٠	٢/٣	٨٠٠٠
	W_{32}	١٠ × ١٠ × ٢٤٠٠	٢٤٠٠٠٠٠	٦	١٤٤٠٠٠٠٠
	W_{33}	½ × ٨ × ١٠ × ٢٤٠٠	٩٦٠٠٠٠	٣/٤١	١٣١٢٠٠٠
٤	P_H	(١٠٠٠×١٥^٢) / ٢	٣١٢٥٠٠٠		
	P_v	١٠٠٠ × ٥ × ٢	١٠٠٠٠٠	١	١٠٠٠٠
		½ × ١٠٠٠ × ٢٠ × ٢	٢٠٠٠٠٠	٢/٣	١٣٣٣٣,٣٣
		الخزان ممتلئ	٤٩٩٢٥٠٠ ٥٨٨٠٠٠٠٠		٥٨٦٥٤١٦ ٣٩٩٠٠٠١

عندما يكون الخزان مملوءا:

اللاتمركزية (اختلاف المركز) (e) = $\frac{٥٨٦٥٤١٦}{٤٩٩٢٥٠} - \frac{١٩}{٢}$

= ٢,٢٥ (فى منتصف الثلث).

عند طرف المؤخرة (Heel):

$P_{n1} = \frac{٤٩٩٢٥٠}{١٩} \frac{(١-٦×٢,٢٥)}{١٩}$

= ٧٦٠٦,٣ كجرام / متر مربع = ٧,٦ طن / المتر المربع.

عند طرف المقدمة (Toe):

$P_{n2} = \frac{٤٩٩٢٥٠}{١٩} \frac{(١+٦×٢,٢٥)}{١٩}$

= ٤٤٩٤٦,٣٣ كجرام / المتر المربع = ٤٤,٩ طن / المتر المربع.

معامل الأمان ضد الإنقلاب:

معامل الأمان = (٥٨٦٥٤١٦ + ٧٥٢٠٨٣) / ٧٥٢٠٨٣ = ٨,٨ > ١,٥

معامل الأمان ضد الإنزلاق:

معامل الأمان = (٤٩٩٢٥٠ × ٠,٦٥) / ٣١٢٥٠٠ = ١,٠٣٨ > ١

عندما يكون الخزان فارغا:

$e =$ ٣٩٩٠٠٠١ / ٥٨٨٠٠٠ − ١٩ / ٢ = − ٢,٧ (فى منتصف الثلث).

العلامة بالسلب تعنى أن اختلاف المركز يكون فى إتجاه السطح المواجه للمنبع أو طرف المؤخرة (Heel).

عند طرف المؤخرة (Heel):

$P_{n1} =$ (٥٨٨٠٠٠ / ١٩) × ([١ − ٦ × (−٢,٧)] / ١٩)

= ٥٧٣٣٤ كجرام / المتر المربع = ٥٧,٣ طن / المتر المربع

عند طرف المقدمة (Toe):

$P_{n2} =$ (٥٨٨٠٠٠ / ١٩) × ([١ + ٦ × (−٢,٧)] / ١٩)

= ٤٥٦٠,٦ كجرام / المتر المربع = ٤,٥ طن / المتر المربع.

تلك فى حدود الأمان لذا فإن السد يكون آمنا.

الإجهاد الرئيسى وإجهاد القص Principal and Shear Stresses:

الإجهاد الرئيسى يعطى بالمعادلة (٢٢)

هنا $Tan(a) =$ ١٠ / ٨

$a = \tan^{-1}(1.25) = 51^\circ\ 34'$

لذا $\theta = 90^\circ - 51^\circ\ 34' = 38^\circ\ 26^\circ$

الإجهاد الرئيسي عند طرف المقدمة (Toe)

$= 44946.33\ \sec^2 (38^\circ\ 6')$

= ٧٣٧١١,٩٨ كجرام/متر مربع

= ٧٣,٧ طن/متر مربع

إجهاد القص عند طرف المقدمة يعطى بالمعادلة (٢٨)

$= P_n \tan\theta$

$= 44946.33\ \tan\ (38^\circ\ 26')$

= ٣٥٦٦٢ كجرام/متر مربع

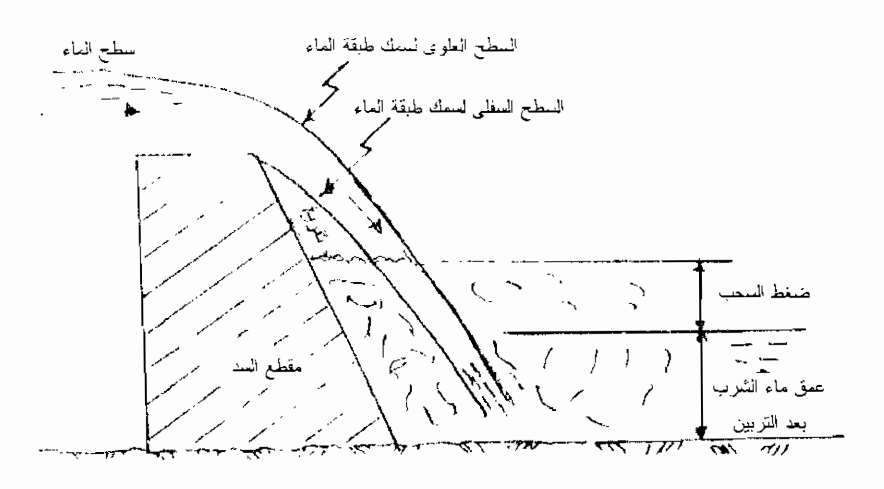
= ٣٥,٦٦ طن/متر مربع

كلاهما خلال الحدود المسموح بها، لذا فإن مقطع السد يكون آمنا.

<u>(٩) سدود التثاقل بالفيض: (Over Flow Gravity Dams)</u>

بالنسبة لمقطع الفيض لسد التثاقل، يكون من المهم أن الشكل الجانبي للسد يتطابق مع المنحنى السفلي (أو سمك طبقة الماء فوق الهدار – Nappe) وذلك لصفحة الماء الساقط وإلا فإنه سوف يحدث ضغط سالب أو ضغط تفريغ تحت طبقة الماء الساقط والذي يعمل على إضعاف إستقرار السد. نافورة الماء الساقط على أساس الإحتكاك بين الهواء وسطح الماء تحمل جزء من الهواء المحتجز (بسبب عدم التهوية الحرة) في الفراغ ما بين السد وسمك طبقة الماء (Nappe) وبذا ينخفض ضغط الهواء إلى أقل من الضغط الجوي ويسبب الإرتفاع لعمق المياه المنصرفة. مع وجود الضغط الجوي الكامل فوق التدفق (Jet) والتفريغ الجزئي أسفل التدفق، فإنه يتكون ضغط إمتصاص (Suction Head) مما يسبب ضغط إضافي في سطح السد المواجه للصرف الشكل (١٢/١١) والذي يمكن أن يساهم في عزم الإنقلاب حول السد بجانب إحداث الثقوب (Pitting) في وجه السد في إتجاه الصرف. نظرا

لأنه يكون من الصعب عمليًا وكذلك مكلفًا توفير دوران هــواء حـــر (Free Air circulation) خاصة في حالة السدود العالية. فإنه ينصح بأن يكون سطح السد في اتجاه المصب يتم عمله ليكون مائلاً بالتقابل (Correspond) مع الـــسطح الـــسفلي لسمك طبقة الماء الساقط وذلك بامتلاء المساحة أسفل السطح السفلي لسمك طبقـــة الماء الساقط بالطوب.



شكل (١١/١٢) الضغط السالب فى الفراغ بين السد وطبقة الماء

<u>***أ – شكل القمة (Shape of crest)***</u>

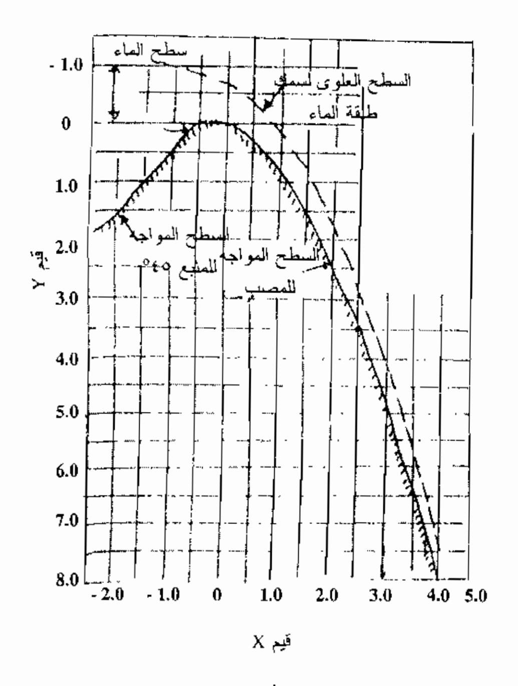
الغرض الرئيسي من اختيار شكل القمة هو تجنب الضغط الـــسالب كمـــا ســـبق توضيحه. الأغراض الأخرى تشمل الكفـــاءة الهيدروليكيـــة، الاســـتقرار الإنـــشائي، واقتصاديات الإنشاء ثم اقتراح عدد من الأشكال الجانبية من بين هذه كـــان (Creager Profile) الأول فى إقراره لقمة قناة تصريف الفائض من مياه الـــسد (أو المفـــيض – Spillway) والذي عرف بأنه القمة القياسية للسد (Standard Dam Crest). كذلك فـــإن طبيعة شكل القمة تعتمد على سرعة الاقتراب التي يمر بها أقصى تدفق فوق قمة السد – لذلك فإن الشكل الجانبي للسد تم دراسته بسرعة الاقتراب وبدون سرعة الاقتـــراب لكلا الحالتين الآتيتين:

(١) السطح العمودي في اتجاه المصب.

(٢) السطح في اتجاه المصب المائل بزاوية ٤٥ درجة.

في حالة إهمال سرعة الاقتراب (velocity of Approach)، فإن الأشكال الجانبية وتناسقها بالنسبة للمصدر عند أعلى نقطة للقمة موضح في الأشكال (١١/١٣)، (١١/١٤).

طبقًا للأبحاث التجريبية المكثفة تم تطوير إحداثيات للأشكال الجانبية لسدود الفيض والتي استخدمت فيما بعد. تلك الأشكال الجانبية (Profiles) يمكن تمثيلها بالمعادلة.



القمة القياسية (السطح المواجه للمنبع عمودى)

الشكل (١١/١٣)

القمة المثالية (السطح المواجه للمنبع بميل ٤٥°)

الشكل (١١/١٤)

$$X^n = KH_d^{n-1}y \qquad (54)$$

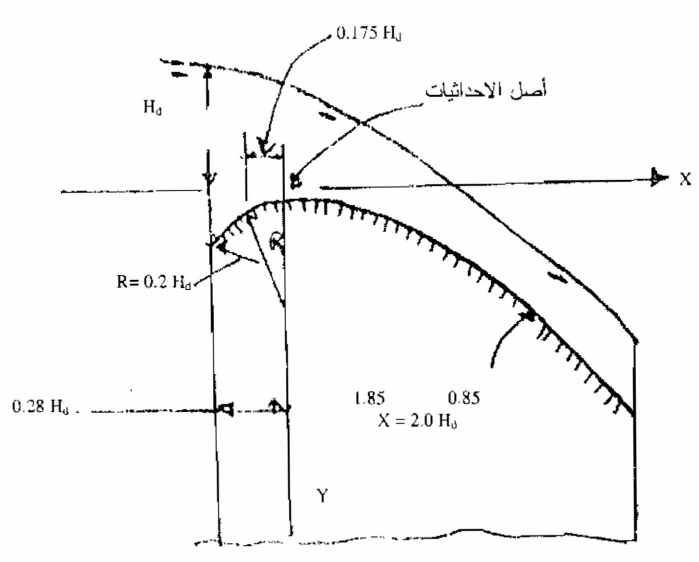
حيث:

X ، Y = الإحداثيات بالنسبة للأصل (Origin) عند أعلا نقطة للقمة.

H_d = ضغط التصميم (Design Head) فوق القمة باستثناء ضغط السرعة.

$K_{,N}$ = معايير تتوقف على الميل في اتجاه المنبع كما في الجدول (٤).

الشكل الجانبي التفصيلي للميل العمودي للاتجاه نحو المنبع موضح في الشكل (١١/١٥)



شكل (١١/١٥) الشكل الجانبى للميل العمودى فى إتجاه المنبع

تصميم الشكل الجانبي سيتم توضيحه من خلال المثال التالي:

مثال:

المطلوب تصميم الشكل الجانبي لفيض الطفح (Over Flow Spillway) لكلا الاتجاهين في اتجاه المنبع وفي اتجاه المصب حيث الميل في اتجاه المصب يكون عموديًا وله البيانات الآتية:

ذروة التصريف = ٤٠٠ متر مكعب في الثانية.

ارتفاع تدفق الذروة مقاس من قاعدة النهر = ٦٠ متر

طول المفيض متضمناً ٦ فواصل كل ٢٠ متر (صافي) = ١٢٠ متر

معامل الصرف = ٢,١

ميل سطح السد المواجه للمصب = ٠,٧ : ١

الحل:

الخطوة رقم (I):

تعيين ضغط الماء Head) – ارتفاع عمود الماء) على قمة قناة تصريف الفائض (المفيض – Spillway) من المعادلة الآتية:

$$Q = CL\,H_c^{3/2} \qquad (55)$$

حيث:

Q = أقصى تصرف

H_c = إجمالي ارتفاع عمود الماء (Head) فوق قمة المفيض

L = طول المفيض

C = معامل التصريف.

الخطوة رقم (II):

بسبب دعامات الجسر (Piens – البغال) والأكتاف(Abutments)، فإذا الطول المؤثر للمفيض يعطى بالمعادلة: $Le = L - 2\,(N.Kp + Ka)H_c$

حيث:

N = عدد دعامات الجسم (البغال) = 5

K_p = معامل إنشاء الدعامة = 0.01

K_a = معامل إنشاء الكتف = 0.1

الخطوة رقم (III)

باستخدام الطول المؤثر للمفيض، يتم تعيين ضغط الماء التصميمي (عمود الماء) (Design Head) على المفيض H_d من المعادلة (55).

الخطوة رقم (IV):

يتم تعيين (H_d/H) حيث H = ارتفاع السد. وطبقًا لأبحاث سلاح المهندسين الأمريكي حيث H_d/H تكون أكبر من (1.33)، فإن سرعة الاقتراب تكون صغيرة جدًا ويمكن أن تهمل. كذلك إذا كان $\frac{H_d + H}{H_d} < 1.7$، معامل الصرف لايتم إهماله فى حالة مياه الصرف.

الخطوة رقم (V):

عين الشكل الجانبي لاتجاه المنبع باستخدام العلاقة في المعادلة (54) ولفيض المفيض (Over Flow Spillway) مع الميل العمودي لاتجاه المنبع بواسطة

$$X^{1.85} = 2\ H_d^{0.85}\ Y \qquad (57)$$

الخطوة رقم (VI):

عين الشكل الجانبي في اتجاه المنبع بالمعادلة (58) طبقًا للتجارب التي أجراها سلاح المهندسين الأمريكي.

$$Y = \frac{0.724\,(X + 0.27 H_d)^{1.85}}{H_d^{0.85}} + 0.126\, H_d$$

$$- 4315\ Hd^{0.375}\ (X + 0.27\ H_d)^{0.625} \qquad (58)$$

باستخدام المعادلة (55):

$$H_c = \left(\frac{4000}{21 \text{ x } 120}\right)^{2/3} = 6.32 \text{ m}$$

باستخدام المعادلة (56):

$$L_e = 120 - 2\ (5 \times 0.01 + 0.1) \times 6.32 = 118.11\text{m}$$

Hd يتم تعيينها من المعادلة (55)

$$Hd = \left(\frac{4000}{2.1 \times 118.11}\right)^{2/3} = 6.39 \text{ m}$$

ارتفاع السد = H = ٦٠ – ٦,٣٩ = ٥٣,٦١ متر

لذلك، فإن التأثير الناتج عن سرعة الاقتراب يمكن إهماله

$$\frac{H + Hd}{Hd} = \frac{53.61 + 6.39}{6.39} = 9.39 > 1.7$$

لذلك، فإن معامل التصريف لا يتأثر بحالة مياه التسرب والصرف. الشكل الجـانبي للاتجاه نحو المصب: (Down stream profile)

ميل السطح المواجه للمصب = ٠,٧ : ١

لذلك:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1.0}{0.7}$$

استخدام المعادلة (57):

$$Y = \frac{X^{1.85}}{2\,(6.39)^{0.85}}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1.85\,X^{0.85}}{9.66} = \frac{1.0}{0.7}$$

جدول (٥) محاور الإحداثيات للشكل الجانبي في اتجاه المصب.

Y	X	Y	X
2.84	6	0	0
3.78	7	0.10	1
4.85	8	0.37	2
6.03	9	0.79	3
7.32	10	1.34	4
8.06	10.53	2.02	5

الشكل الجانبي في اتجاه المنبع (Up Stream Profile)

باستخدام المعادلة (58) واستبدال (Hd) فإننا نحصل على

$$Y = 0.148\,(X + 1.725)^{1.85} + 0.805 - 0.867\,(X + 1.725)^{0.625}$$

جدول (٦) محاور الإحداثيات للشكل الجانبي في اتجاه المنبع

Y	X	Y	X
0.270	- 1.2	0.011	- 0.3
0.471	- 1.5	0.056	- 0.6
0.805	- 1.725	0.139	- 0.9

<u>(١٠) إنشاء سدود التثاقل: Construction of Gravity Dams</u>

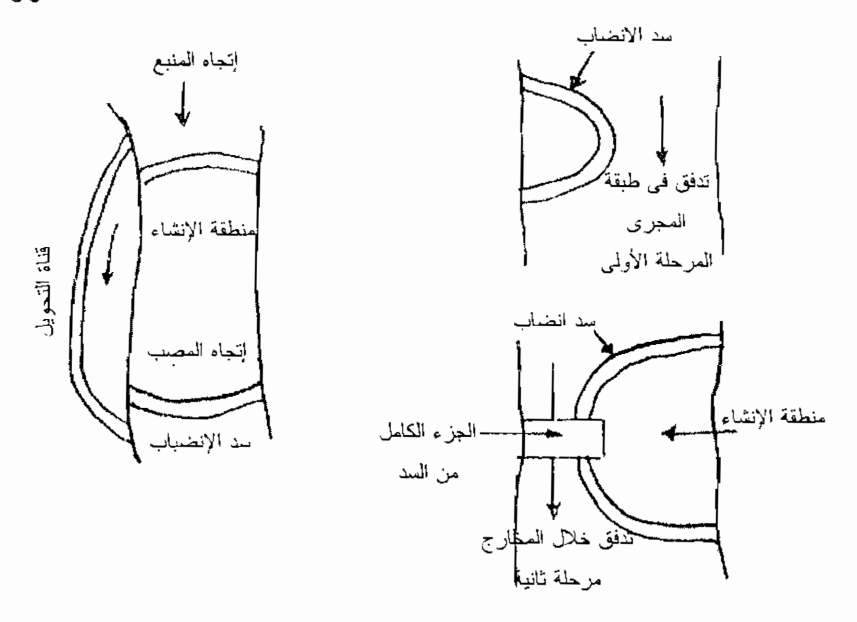
إنشاء سدود التثاقل يمكن وصفه في الخطوات التالية:

<u>أ – تحويل التدفق لمياه المجرى (Stream Flow Divergion)</u>

قبل بدء العمل في الإنشاء فإنه يتم الإمساك بلسان الماء (Reach)، حيث يكون من الضروري تحويل تدفقات المياه في النهر بحيث يكون موقع الإنشاء خاليًا بما يمكن من استخدام العمال والمعدات. التحويل يمكن أن يتم بأي من الطرق الآتية:

(١) في حالة الظروف الجيولوجية والجغرافية المناسبة، يمكن استخدام نفق أو قناة تحويل (Tunnel or Diversion Canal) لتحويل كل التدفق حول موقع السد (انظر الشكل (٢/١٦)). في حالة سد التثاقل الخرساني المستقيم (Bhakra)، فقد تم إنشاء نفقين بالبطانة الخرسانية كل بقطر ١٥ متر وطول ٨٠٠ متر، وحاملا بتصرف مقدراه ٥٦٦٠ متر مكعب في الثانية وذلك كمنشآت تحويل على شهر (Sutlej). في حالة سد هوفر (Hoover) في الولايات المتحدة، تم إنشاء أربع أنفاق كل بقطر ١٥ متر لتحويل النهر. وهذه فيما بعد تم تحويلها إلى منشآت المخرج.

(٢) أحيانًا في حالة الأنهار شديدة الاتساع، فإن التحويل يتم بعملية من مرحلتين انظر الشكل (١١/١٦). في هذه الحالة فإن التدفق يتم تحويله إلى جانب واحد من القناة بواسطة سد الإنضاب وهو سد مؤقت لحجز الماء أو نزحه من موقع التشييد – Coffer Dam، بينما يستمر العمل على الجانب الآخر. العمل على الجزء السفلي لجانب يتم عندئذ تكملته. في المرحلة الثانية، يتم تحويل التدفق خلال المخارج (out lets) في هذا الجزء ويستمر العمل في النصف الآخر من القناة. لخفض مشكلة التحويل، قد ينصح بجدولة الإنشاء للجزء السفلي من السد خلال فترات التدفق المنخفض.



شكل (١١/١٦) تحويل النهر

ب- معالجة الأساس بالحقن بالأسمنت: Foundation Treatment By Grouting:

أساس سد التثاقل يجب أن يتم حفره حتى الطبقة المتاح فيها الصخر المصمت (Sound Rock). عمق الحفر قد يكشف تشققات، تصدعات (Fissure)، أو فجوات (Cavities) في الطبقة السفلية (Substrata) والتي يجب أن تتم معالجتها بالحقن تحت الضغط بخليط من الماء والأسمنت مع كمية صغيرة من الرمل الرفيع (Fine sand) في الثقوب التي تم حفرها في الطبقة الصخرية. وهذا يسمى معالجة الأساس بالأسمنت والذي يلزم تنفيذه قبل وضع الخرسانة في السد.

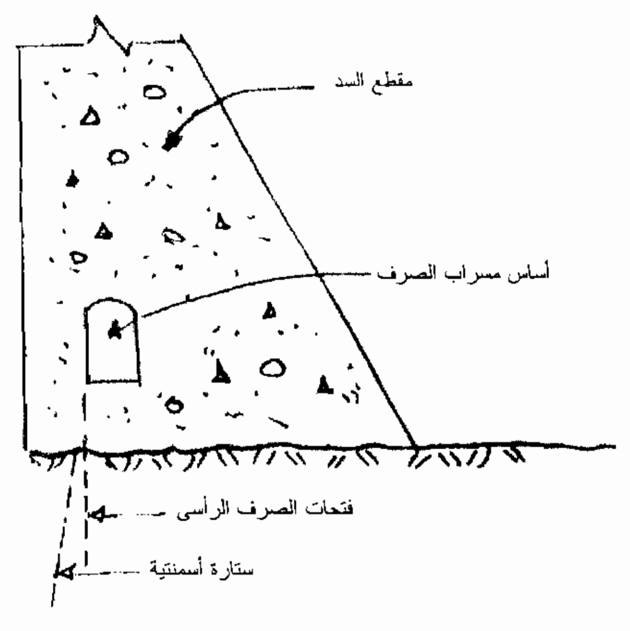
الطريقتين المستخدمين عمومًا في معالجة الأساس بالخرسانة هما:

- الطريقة المتماسكة أو المدمجة (Consolidation Grouting)
- طريقة الستارة (Curtain Grouting)

الطريقة المتماسكة تتضمن الحفر لحفر ضحلة نسبيًا ومعالجتها بالأسمنت عند ضغط منخفض يتراوح من ٠,١ إلى ٠,٧ كجرام سم^{٢}. يتحدد عمق ثقوب الحفر مجرى وجود صدوع صخرية ومتطلبات التصميم الأخرى. يتم عمل حفر الثقوب

في شكل هندسي مناسب مثل السداسي فوق كل المساحة لتسهيل التداخلات البينية لسهولة إزالة مادة الكسح إلى الخارج (Washout).

طريقة الستارة والتى تستخدم عادة في السدود الخرسانية العالية والتي يقصد بها عمل أساس سد غير نفاذ وتقويته على الطرف الخارجي للسد في اتجاه المنبع. العملية تكون بالمعالجة العميقة بالأسمنت (Deep Grouting) لعدد من الحفر (الثقوب) منظمة لتكوين ستارة أو حاجز مقام في اتجاه عمودي على اتجاه التسرب والارتشاح. الثقوب بقطر ٣٠-٧٥ مليمتر يتم حفرها من الأساس أو سرداب الصرف (Drainage Gallery) بميل يصل إلى ١٠- ١٥ درجة مئوية من العمودى شكل (١١/١٧) والحقن فيهم بالخلطة الأسمنتية (١ : ١). ولا يتم حفر الثقوب عند متوسطات (Centres) ١٢ متر ثم يلي ذلك ثقوب متوسطة عند فواصل أقرب حوالي ٣ متر وحفرها وملئها بالمونة الأسمنتية (Grout). هذا يضمن أن الشقوق والفواصل يتم ملئها جيدًا. المعالجة بالخرسانة (المونة الأسمنتية تجري عند ضغوط حتى ٣كجرام/سم٢).



شكل (١١/١٧) الستارة الاسمنتية للسد الثقالى

الطريقة العامة المتبعة في معالجة الأساس بالخرسانة هي كالآتي:

١- يتم حفر عدة ثقوب أسفل الطرف الخلفي للسد (The Heel).

٢- يتم غسيل هذه الثقوب بالماء تحت الضغط. ضغط الماء يساوي عمومًا ارتفاع عمود الماء المواجه للسد.

٣- يتم إنزال ماسورة ملولبة (Threaded) مع الثقب والتوصيل بطلمبة الحقن الأسمنتي (Grouting) ويتم حقن الخليط الأسمنتي تحت ضغط.

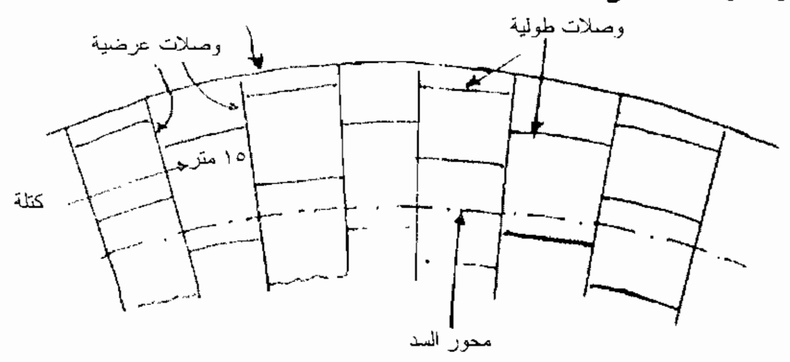
٤- يتم غلق الثقب الأسمنتي (Grout Hole) عند قمته. ربط الثقب الواحد يتم إكماله عمومًا قبل حفر الثقوب المجاورة.

جـ- صب الخرسانة والتوصيل: (Concreting and Joining)

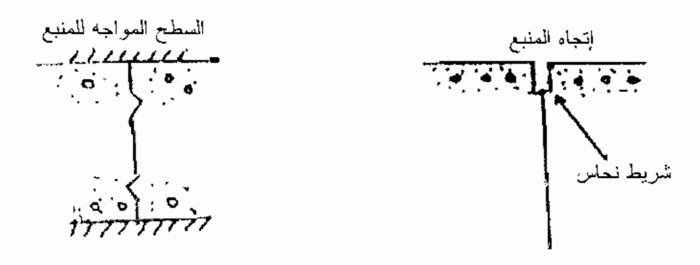
نظرًا لأن الإنشاء الكلي للسد لا يمكن تنفيذه كاملاً في مدى واحد، فإن خرسانة السد يتم وضعها عادة في شكل كتل (Blocks) بعرض أقصاه ١٥ متر للسدود الضخمة. أقصى ارتفاع لثقب واحد والذي يسمى مدى الارتفاع أو الرفع (Lift) هو عادة ١,٥متر. المقاطع يتم صبها بالتبادل ولحدوث الشد الجيد فإن كل كتلة تظل لعدة أيام حتى الشد النهائي قبل وضع الأخرى مجاورة لها. الأسطح الجانبية لكل مقطع يتم إعطائها طلاء أسفلتي لمنع الالتصاق لمقاطع الاتصال ولتكوين وصلات إنشائية لخفض التشقق في الخرسانة.

نتيجة للتغيرات في درجة الحرارة، فإن الخرسانة يكون لها الاستعداد للانكماش وتكوين الشقوق. وصلات الانكماش يتم توفيرها لهذا السبب في الأسطح الأفقية والرأسية وتسمى الوصلات الطولية والعرضية الشكل (١٨/١١) بينما الوصلات الطولية يتم توفيرها موازية لمحور السد لمنع التشققات الطولية. فإن الوصلات العرضية يتم توفيرها عمودية على محور السد لمنع حدوث تشققات عرضية غير منتظمة.

سدود التثاقل يتم عملها مانعة لنفاذ المياه بتجهيزات مجاري الخابور (Key ways) وحاجزات الماء (Water stops) الشكل (١٩/١١).



شكل (١١/١٨) الوصلات الطولية والعرضية



شكل (١١/١٩) مجارى الخابور وإيقاف المياه فى السدود الثقالى

مجارى الخابور: يتم تجهيزها بين المقاطع والوصلات لنقل القص (Shear) من مقطع أو وصلات إلى المجاور وبذا تمكين السد من أن يعمل كمنشأ أحادي (Monolithic Structure).

حاجزات الماء: من الإنشاء المعدني توضع كذلك في الوصلات العرضية قريبًا من السطح المواجه للمنبع لمنع حدوث التسرب للماء في جسم السد.

د – *التحكم في درجة الحرارة:*

التحكم في درجة الحرارة يكون ضروريًا لمنع التشقق للكتل الخرسانية بسبب التدرج العالي في درجة الحرارة بين الداخل والسطح. بسبب التغير اليومي في درجة الحرارة عند السطح، فإن التشققات السطحية يمكن كذلك أن تظهر. المياه التي تدخل خلال تلك التشققات قد تتراكم ثم تتجمد عند هبوط درجة الحرارة. الثلج الذي يتكون يبدأ في التمدد عند ٤° درجة مئوية بما ينتج عند زيادة عمق واتساع الشقوق.

الطرق المستخدمة لمراجعة وخفض تنمية وظهور التشققات في الكتلة الخرسانية هي:

(١) التبريد المسبق للخرسانة والذي يتم بتبريد الركام السميك والدقيق بماء بارد مثلج وبنفخ الهواء خلالهم.

(٢) التبريد اللاحق للخرسانة ويتم بتدوير الماء المثلج خلال أنابيب مغمورة في الخرسانة في كل رفعه (صبه). التبريد يتم مباشرة بعد وضع الكتلة ويستمر حتى تصل درجة حرارة الكتلة إلى متوسط درجة حرارة الخرسانة المحيطة.

(٣) يمكن استخدام الأسمنت منخفض درجة الحرارة (Low Heat cement) في عمل الخرسانة.

(٤) تحديد الارتفاع لكل رفعة (صبة) بمقدار ١,٥ متر، توفير وصلات الإنشاء وتوفير الوقت الكافي لعدة أيام بين إنشاء الكتل والمقاطع المتناولة (كما سبق توضيحه) وهذا يساعد كذلك على التحكم في التشققات.

الدهاليز أو السراديب في السدود: (Galleries In Dams)

السراديب أو الدهاليز هي فتحات في السد التي يتم علمها موازية لمحور السد أي في الاتجاه الطولي. السراديب تستخدم لعدة أغراض والتي يتم تقسيمها كالآتي:

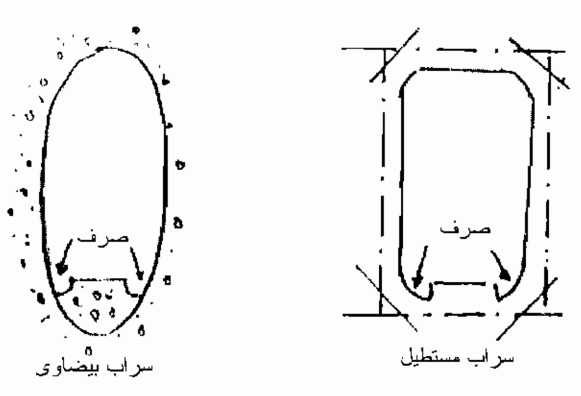
أ – سرداب الأساس والصرف للقيام بعملية المعالجة الخرسانية وكذلك لصرف المياه المتسربة في الخزان.

ب– سرداب التفتيش: لإمكان الوصول إلى داخل السد وإجراء أعمال الصيانة للبوابات والمحابس.

جـ– سرداب البوابة: لإيواء المعدات الميكانيكية المستخدمة في عمل البوابات في المفيض ومسارات بوابات التحكم (Sluice ways).

السراديب تكون عمومًا في شكل بيضاوي أو في شكل مستطيل الشكل (٢٠/١١).

وهي تصمم بطريقة مناسبة، مع الحرص نحو تركيز الإجهاد العالي حول فتحاتها. السراديب لها اقتراب إما خلال رافعة أو مصعد (Elevator) أو خلال سراديب عند النهايات (Ends).



شكل (١١/٢٠) السراديب فى السدود الخرسانية

أسئلة ومسائل:

١- ما هي القوى المختلفة التي تعمل على سد التثاقل. اكتب مصطلحات تمثل القوى مع بيان تلك القوى في شكل مخططات.

٢- يناقش تأثير الزلزال في تصميم سد التثاقل.

٣- عرف الشكل الجانبي الأولي لسد التثاقل. كيف يمكن حساب الإجهادات العمودية، الرئيسية وإجهادات القص التي تعمل على السد؟

٤- ماذا يعنى بالشكل الجانبي العملي لسد التثاقل؟ ناقش أهميته في تصميم السد.

٥- ما هو حد الارتفاع للسد؟ بين توضيح التفرقة بين السد المنخفض والسد العالي.

٦- ناقش قاعدة التصميم للشكل الجانبي لمفيض سد التثاقل.

٧- يقترح إنشاء سد تثاقل عند موقع معين لنهر. اشرح واذكر الخطوات المختلفة اللازمة لتنفيذ الإنشاء.

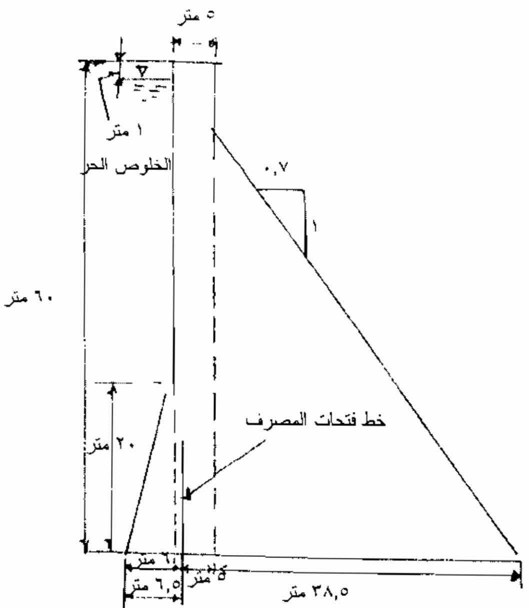
٨- ناقش انهيار سد التثاقل وقواعد الاستقرار والرسوخ المستخدمة في التصميم.

٩- اكتب ملاحظات عن الآتي:

- التحكم في درجة حرارة السدود الخرسانية.
- المعالجة الخرسانية بالستارة.
- السراديب في السدود الخرسانية.

١٠-سد تثاقل عالي بارتفاع ١٠ متر وسطحه العمودي في اتجاه المنبع له قمة بعرض ٣ متر. ماذا يجب أن يكون عرض قاعدته إذا كانت محصلة القوى النشطة هـي بقطع نقطة الثلث المتوسط للقاعدة عندما يكون عمق الماء ٩ متر. افترض ضغط الرفع الكلي (Full up lift Pressure) مع إهمال حمل الثلج وقوى الزلزال.

١١-بالنسبة لمقطع سد التثاقل الموضح في الشكل (١١/٢١) راجع الاستقرار للسد في حالة الامتلاء الكامل للخزان. افترض ثقـوب خـط الـصرف (Line of Drain Holes) ٦,٥ متر في اتجاه المصب من سطح السد. كـذلك أوجـد الإجهـادات الرئيسية وإجهادات القص عند الطرف الخلفي والطرف الأمامي للسد. يتم إهمال قوي الزلزال.



شكل (١١/٢١) توضيح للمثال

الفصل الثانى عشر

سدود القنطرة (العقد) ودعامة التثبيت (الكتف)

Arch and Buttress Dams

١ – مقدمة:

سد القنطرة أو العقد يكون منحنيًا في المسقط الأفقي (Curved In plan). ويحمل معظم حمل الماء أفقيًا على الأكتاف بفعل وتأثير العقد (القنطرة). قوة الدفع أو الضغط الناتجة (Thrust) يجعل من الأساسي أن تكون الحوائط الجانبية للخانق السحيق شديد الانحدار الضيق (Canyon) تكون قادرة على مقاومة تأثير وفعل العقد. نظرًا لأن وزن السد لا يقاوم حمل الماء فإن الحجم الكلي لسد العقد يكون أقل كثيرًا عن ذلك لسد التثاقل.

هذه الحقيقة تجعل أنه من المناسب عمليًا للسد العالي حيث تسبب قلة الخرسانة، فإنه يمكن تحقيق وفر اقتصادي في تصميم وإنشاء السد.

سد دعائم الأكتاف (انظر الشكل ١٠/١)، يقوم بحجز المياه بمساعدة الغشاء المائل المانع لنفاذ المياه (Sloping water tight membranc) المحمل على الجانب الخلفي (Backside) بسلسلة من الدعائم على مسافات متساوية بزوايا قائمة على محور السد. ضغط الماء على السطح المائل (Sloping Deck) يتم نقله إلى الأساس خلال الدعائم والتي تعمل مثل الأعمدة (Columns). سد الدعامة يكون كذلك أخف في الوزن مقارنة بسد التثاقل.

٢- تقسيم سدود العقد:(Classification of Arch Dams)

سدود العقد تنقسم عمومًا إلى:

أ - سدود العقد المصمتة (Massive Arch Dams)

ب - سدود العقد المتعددة (Multiple Arch Dams)

في حالة سدود العقد المصمتة:

يوجد حائط منحنى واحد عادة عمودي أو قريبًا من ذلك، والذي يمتد لكل العرض بين الأكتاف. هذه تنقسم كذلك إلى:

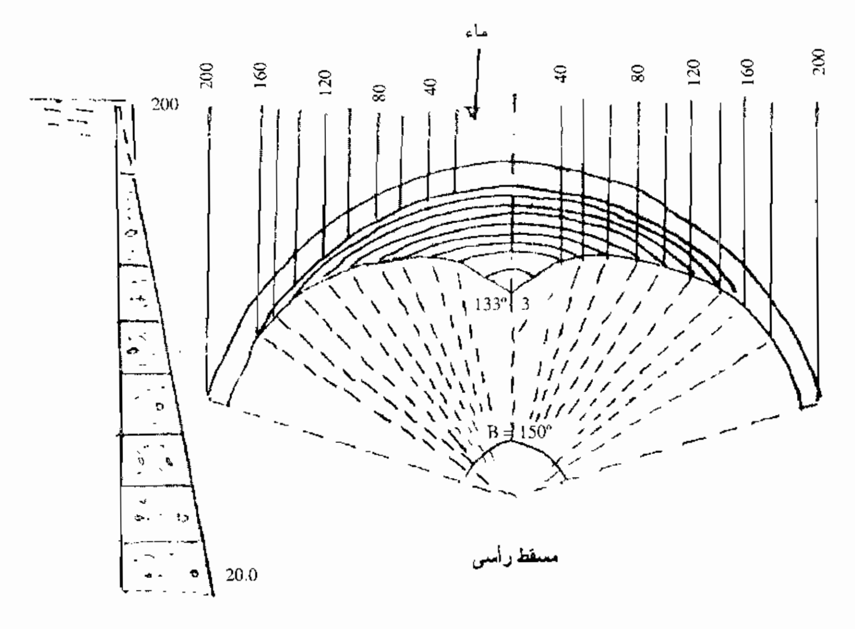
- سدود القنطرة ذات نصف القطر الثابت (Constant Radius)
- سدود القنطرة ذات الزاوية الثابتة (Constant Angle)
- سدود القنطرة ذات نصف القطر المتغير(Variable Radius)

في حالة سدود العقد المتعددة:

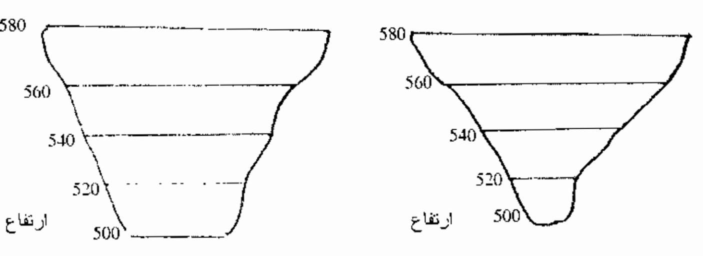
فإنها تتكون من عدد من القناطر (العقد) الأصغر عادة مائلة أو محملة على بغال أو أكتاف. وهي تعرف كذلك بسدود الدعائم (الأكتاف) (Buttress).

سد العقد ذو نصف القطر الثابت:

هذا السد سطحه المواجه للمنبع يكون في شكل عمودي أسطواني ذو نصف قطر ثابت الشكل (٣/١) خط المنتصف (Line of centers) هو خط عمودي مستقيم له عدد من وحدات العقد أو الحلقات المرصوصة على ارتفاعات مختلفة. لذا، فإن هذا النوع يعرف كذلك بسد العقد ذو المركز الثابت (Constant Center Arch Dam) الزوايا المركزية للحلقات العقد للسطح المواجه للمصب (باطن العقد Intrados) تختلف عند مختلف الارتفاعات ما بين الأقصى على قمة السد إلى الأدنى عند قاع السد. نظرًا لأن فعل الكابولي (cantliver) ينقل نسبة كبيرة من الحمل عند مستويات منخفضة، فإنه يتم التبنى العملي للسد بالعقد ذو نصف القطر الثابت في حالة الخانق الضيق شديد الانحدار بالشكل حرف U انظر الشكل (٣/٢).



شكل (١٢/١) سد العقد بنصف القطر الثابت

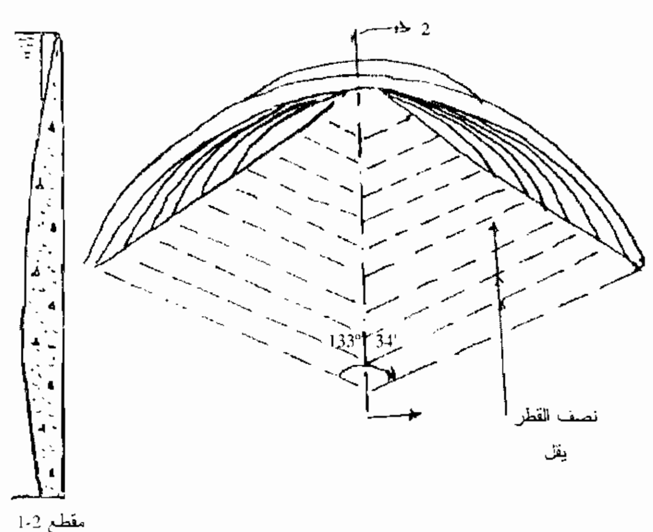


شكل (١٢/٢) أخدود (خانق) شكل U، شكل V

سد العقد (القنطرة) بالزاوية الثابتة:

وهو يستخدم زاوية مركزية ثابتة لحلقات القبو الأفقية من القمةإلى القاع مع الانخفاض في أنصاف الأقطار للعقد والذي يعطي سطح ذو انحناء مزدوج (Double Curvature) على الجانب المواجه للمنبع شكل (١٢/٣).

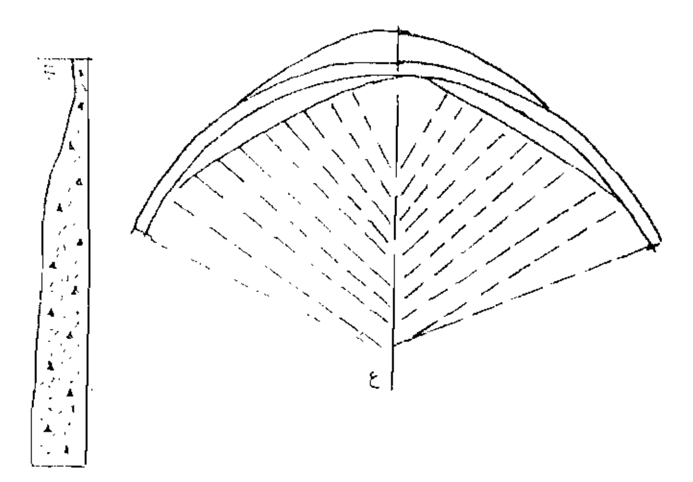
الزاوية الثابتة عند (′34 °130) وجد أنها تعطي مقطع العقد الأكثر اقتصادًا. سطح الانحناء المزدوج ينتج عنه خفض في حجم السد. لذلك، فإن سد العقد بالزاوية الثابتة وجد أنه هو الأكثر اقتصادًا. وهو يحتاج إلى ٤٣% من الخرسانة اللازمة في حالة سد العقد بنصف القطر الثابت.



شكل (١٢/٣) سد العقد بنصف القطر الثابت

سد العقد ذو نصف القطر المتغير: Variable Radius Arch Dam

هذا السد له أنصاف أقطار متغيرة لحلقات العقد المقابلة للسطح في مواجهة المنبع (منحنى العقد الخارجي أو ظاهر العقد – Extrados وتلك في مواجهة السطح في اتجاه المصب) السطح الباطني أو باطن العقد Intrados من القمة إلى القاع، ولها مراكز ذات أنصاف أقطار مختلفة على المنحنى الأملس الناعم الشكل (١٢/٤). نظرًا لأن مراكز حلقات القبو الأفقية لا تقع على طول خط **واحد عمودي**، فإن مثل هذه السدود تعرف كذلك بسدود العقد متغيرة المركز(Variable centre Arch Dam) الزاوية المركزية لمختلف العقود ليست ثابتة ولكنها تختلف في المجال من ٨٠ – ١٥٠ درجة مئوية، بحيث أنه يمكن الحصول على أقصى طاقة للسد عند كل الارتفاعات. بسبب حقيقة أن أداء عقدها يكون مؤثرًا حتى عند الارتفاعات المنخفضة فإن سدود العقد ذات نصف القطر المتغير تكون مناسبة أكثر في حالة الأنهار الضيقة شديدة الانحدار ذات الشكل حرف (V). شكل (١٢/٢) للحصول على أكبر كفاءة للعقد. وهذا يحقق كذلك وفر كبير في الخرسانة بمقدار ٥٨% من ذلك اللازم لسدود العقد ذات نصف القطر الثابت. للأسباب السابقة، فإن معظم التصميمات الحالية لسدود العقد تكون إما بالزاوية الثابتة أو متغيرة نصف القطر ونادرًا ما تكون من نوع نصف القطر الثابت.



شكل (١٢/٤) سد العقد بنصف القطر المتغير

٣- مبادئ تصميم سد العقد (Principles of Arch Dam Design)

لتصميم سدود العقد، فإنه تراعى نفس القوى التي تعمل على سدود التثاقل. وتلك هي:

أ- الوزن الذاتي للسد.

ب- الضغط الهيدروستاتيكي (ضغط الماء الساكن)

جـ- ضغط الرفع (Uplift).

د- قوى الزلزال.

هـ- ضغط الموج.

و - ضغط الطفل الرملي.

ولكن الأهمية النسبية لتلك القوى أقل كثيرًا. فمثلاً، بسبب العرض الضيق للقاعدة، فإن ضغط الرفع (Up lift) يصبح أقل كثيرًا عن ذلك لسدود التثاقل. ولكن الإجهادات الداخلية بسبب ضغط الثلج والتغيرات في درجة الحرارة وخضوع الدعائم الجانبية (الأكتاف) (Yielding of side supports) تكون أكثر كثيرًا في تصميم سد العقد. ضغط الثلج يسبب حمل مركز مستمر على طول عنصر العقد عند ارتفاع واجهة الثلج. التغيرات في درجة الحرارة تنتج قوى داخلية التي تسبب تحركات طفيفة للسد في اتجاه المنبع صيفاً وفي اتجاه المصب شتاءا. بسبب فعل العقد، فإن قوة الدفع (Thrust)

تنتشر بعيدًا عند امتداد الكتف (Abutment span) وخضوع الكتف النـــاتج قــد يـــسبب إجهادات داخلية في أضلاع العقد (Arch Ribs).

٤- طرق تصميم سد العقد: (Arch Dam Design Methods)

الطرق العادية المستخدمة في تصميم سد العقد هي:

١- الطريقة الاسطوانية (Cylindrical Method)

٢- طريقة محاولة الحمل (Trial Load Method)

٣- طريقة التحليل اللدن (Elastic Analysis Theory)

٤- طريقة الغلاف اللدن.

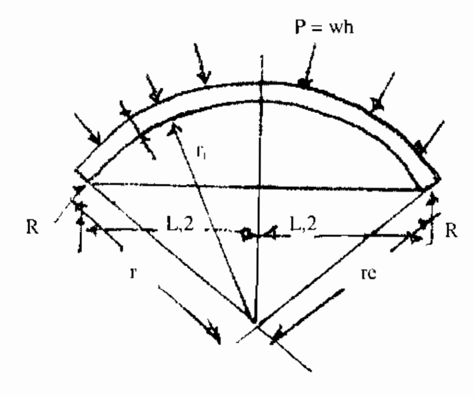
٥- طريقة العنصر المحدد والمحصور: Finite Element Method

وسيتم تناول الطرق ١، ٢ باختصار..

الطريقة الاسطوانية:

المبدأ الأساسي لهذه الطريقة هي بفرض أن الحمل الأفقي للماء على عقــد الـــسد يؤخذ بفعل العقد فقط. الإجهادات المنتجة في السد تعتبر مساوية لتلـــك المنتجـــة فـــي اسطوانة رقيقة ذات أنصاف أقطار خارجية متساوية.

سمك العقد شكل (١٢/٥) يبين مقطع في حلقة العقد لاسطوانة رقيقـــة معرضـــة لحمل الماء عند العمق (h) أسفل السطح الحر للماء.



شكل (١٢/٥) القوى التى تعمل على حلقة العقد

نظرًا لأن الضغط يعمل نصف قطري أو إشعاعى (Radially)، فإن إجمالي قـــوة الضغط الهيدروستاتيكي التي تعمل على محور النهر هي:

$$P = wh.\ 2\ r_e\ \text{Sin}\ \frac{\theta}{2}$$

$$P = 2\ \text{whre Sin}\ \frac{0}{2} \qquad (1)$$

حيث:

Re = نصف القطر الخارجي لحلقة العقد.

θ = الزاوية المقابلة للقوس (العقد) عند المركز

نظرًا لأن قوة الضغط يتم اتزانها برد فعل الأكتاف

$$2\ whr_e\ \text{Sin}\ \frac{\theta}{2} = 2\ R\ \text{Sin}\ \frac{0}{2}$$

حيث رد الفعل لكل كتف أو دعامة

$$R = whr \qquad (2)$$

المعادلة (٢) تعطي أقصى قوة ضغط تحدث على العقد والتي تـــساوي رد فعـــل دعائم الأكتاف (Abutment Reaction)

بفرض أن σ = متوسط إجهاد الضغط الواقع على العقد (القوس)

t = سمك العقد (القوس)

عندئذ

$$\sigma\ \ \frac{R}{I} = \frac{whre}{I} \qquad (3)$$

إذا كانت (t) صغيرة مقارنة بـــ (re)، فإن أقصى وحدة الإجهاد للمادة (f) ســـوف تكون تقريبًا مساوية لمتوسط الإجهاد.

$$f = \sigma = \frac{whre}{t} \qquad (4)$$

أو $$t = \frac{whre}{f} \qquad (5)$$

في حالة اعتبار نصف القطر إلى خط المنتصف للعقد (r) بديلاً عن نصف القطر الخارجي، عندئذ فإن المعادلة (٥) سوف تصبح

$$t = \frac{whr}{f - 0.5\,wh} \qquad (6)$$

بالمثل: عند اعتبار نصف القطر الداخلي (r) للعقد، فإن سمك العقد سوف يكون

$$t = \frac{whri}{f - wh} \qquad (7)$$

الزاوية الاقتصادية لسد العقد هي الزاوية المركزية الثابتة (Constant Central Angle) لسد العقد والتي تتطلب أدنى حجم من الخرسانة للمجموع المحدد للاتساع والتحميل وإجهاد الاسطوانة النظري المسموح به.

حجم البناء لأى عقد يتناسب مع حاصل كل من السمك وطول خط المنتصف (المحور) للعقد (القوس).

أي: حجم البناء في وحدة الارتفاع (h) هو

$$h = ct\,(\theta .\, re) \qquad (8)$$

حيث:

C = ثابت

من المعادلة (٣) $t = \frac{whre}{\sigma}$

كذلك:

$$\frac{L}{2\,Sin\,\frac{\theta}{2}} = re \qquad (9)$$

مع الاستبدال في المعادلة (٨) فإننا نحصل على

$$V = \frac{Cwht^{2}\,\theta}{4\,\sigma\,Sin^{2}\,\frac{\theta}{2}} \qquad (10)$$

$O = \frac{dv}{d\theta}$ لأدنى حجم

بمفاضلة المعادلة (١٠) بالنسبة لـ (θ) والتسوية بصفر فإننا نحصل على

$$\tan\frac{\theta}{2} = \theta$$

$$\text{أو} \quad \theta = 133^\circ\ 34' \qquad (11)$$

المعادلة (١١) تبين أنه معظم الزاوية المركزية الاقتصادية هي ($133^\circ\ 34'$). عمليًا الزوايا المركزية لسد العقد تتراوح من ١٠٠° إلى ١٤٠° مع عرض القاعدة ليظل ما بين ٠,١ إلى ٠,٥ ضعف الارتفاع.

مثال:

البيانات الآتية المتاحة على سد العقد المقترح في مشروع وادي النهر:

ارتفاع السد = ٦٠ متر

سمك السد عند القمة = ١,٥ متر

العرض العلوي للوادي = ٧٥ متر

عرض القاع للوادي = ١٥ متر

أقصى زاوية مقابلة للقوس عند قمة السد = ١٥٠°.

الإجهاد المسموح به للخرسانة = ٥٠٠ طن / المتر المربع

يتم تصميم العقد بالآتي:

أ – نصف القطر الثابت.

ب– الزاوية الثابتة.

الحل:

المعطى هي:

h = ٦٠ متر

Li = ٧٥ متر

θ = ١٥٠°

أ- سد العقد بنصف القطر الثابت (Constant Radius)

هنا:

$$ri = \frac{Li}{2\,Sin\,\frac{\theta}{2}}$$

$$= \frac{75}{2\,Sin\,75°} = 38.8 \approx 39\ \ m$$

سمك السد عند القمة = ١,٥ متر

$$rc = 39 + 1.5 = 40.5\ m$$

باستخدام المعادلة (٥):

$$t = \frac{1000 \times h \times 40.5}{500.000} = 0.081\,h$$

السمك عند الفواصل الكنتورية مقداره عشرة أمتار سيكون كما في الجدول (١).

جدول (١) سمك العقد لسد العقد بنصف القطر الثابت:

t = 0.081 h	h
0	0
0.81	10
1.62	20
2.43	30
3.24	40
4.05	50
4. 86	60

لذلك فإن سمك قاعدة السد = ٤,٨٦ متر.

ب – سد العقد بالزاوية الثابتة (Constant Angle)

الزاوية المركزية الاقتصادية

$$\theta\ \ = 133°\ \ 34'$$

$$\frac{\theta}{2} = 66^\circ\ 47'$$

$$ri = \frac{Li}{2\,\text{Sin}\,66^\circ\ 47'}$$

أو

$$r_1 = 0.544\ Li$$

باستخدام المعادلة (٧) فإن سمك العقد عند مختلف الفواصل الكنتورية كما في الجدول (٢).

جدول (٢) سمك العقد لسد العقد بالزاوية الثابتة:

h (متر)	wh (طن/المتر المربع)	f-wh طن/متر مربع	Li (متر)	ri (متر)	Whri (طن/متر)	t (متر)
صفر	صف	٥٠٠	٧٥	٤٠,٨	صفر	صفر
١٠	١٠	٤٩٠	٦٥	٣٥,٤	٣٥٤	٠,٧٢
٢٠	٢٠	٤٨٠	٥٥	٢٩,٩	٥٩٨	١,٢٥
٣٠	٣٠	٤٧٠	٤٥	٢٤,٥	٧٣٥	١,٥٦
٤٠	٤٠	٤٦٠	٣٥	١٩	٧٦٠	١,٦٥
٥٠	٥٠	٤٥٠	٢٥	١٣,٦	٦٨٠	١,٥١
٦٠	٦٠	٤٤٠	١٥	٨,١٦	٤٩٠	١,١١

١ – حدود الطريقة الاسطوانية (Limitations of cylindrical Method)

الطريقة الاسطوانية لها المحددات التالية:

أ – فهي تفترض الشريحة (Slice) من قوس السد لتكون في شكل حلقة. ولكن، نظرًا لأن شرعية السد ليست حلقة كاملة فإن الإجهادات المحسوبة بالطريقة الاسطوانية ليست تقريبية.

ب– أنواع سد العقد تسلك كعقود قطعية (segmental Arches) (أي باطنها أقل من نصف دائرة) بحيث أنه تحت تأثير الأحمال الخارجية، فإن أطوال العقد يحدث لها قصر (Get Shortened). لذلك، نظرًا لأن الاتساع أو البحر (Span) ليس ثابتًا وليس مرنًا (Inelastic) فإن السد المحمل يحدث له تغير في الشكل (Deformed) مع إنتاج عزوم وإجهادات قص بالإضافة إلى أحمال العقد العمودية. تلك

الإجهادات تسمى إجهادات تقصير الضلع Rib-shortening stresses وهي كبيـرة عندما يكون مقطع العقد أكثر سمكًا وله زاوية مركزية أصغر.

جـ- اتساع أو بحر الأكتاف والذي يفترض أنه ثابت هو في الحقيقة مـرن (Elastic) وهو ينتشر قليلاً بعيدًا بفعل الدفع للعقد (Thrust of the Arch). مثل هذا الانتـشار يضيف كذلك إلى تأثير تقصير الصنع (Rib shortening Effect).

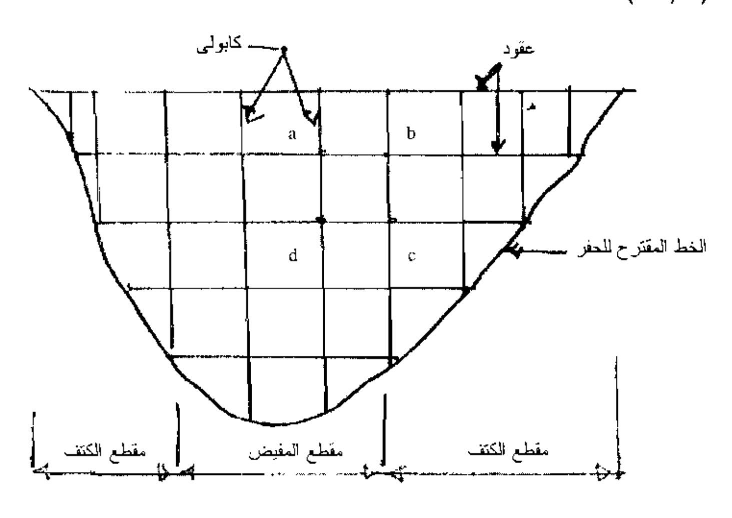
د - التغيرات المفاجئة في درجة الحرارة وانكماش البناء مثل الخرسانة ينـتج كـذلك عزوم بالإضافة إلى تلك التى بسبب التغير اللدن في الشكل كما تم ذكره سابقًا.

٢- *طريقة محاولة الحمل (Trial Load Method)*

بسبب حدود الطريقة الاسطوانية، فإن مسائل الإنشاء الحقيقية المعقـدة لا يمكـن حلها بدقة. حيث أن التحليل الحقيقي معقد جدًا، طريقة محاولة الحمل (USBR) تـوفر تصميم أفضل وكافى لسدود العقد.

في طريقة المحاولة يفترض أن السد مكون من نظامين من العناصر وهما:

- سلسلة من العقد الأفقية الناقلة للدفع إلى الأكتاف والدعائم.
- سلسلة من الكابولي الرأسي (Vertical Cantilevers) المثبتة عند الأساس الشكل (١٢/٦).



شكل (١٢/٦) طريقة محاولة الحمل

المركبة الأفقية (Horisontal Component) لحمل الماء التي تعمل على سد العقد تقاوم بالتضامن (Jointly) مع فعل العقد والكابولي. توزع الحمل ما بين العقود والكابولي يتم تعيينه بواسطة طريقة المحاولة والخطأ (Trial And Error) على مبدأ أن كل نقطة تقاطع للعناصر الأفقية والرأسية (a b c d) (انظر الشكل (١٢/٦) انحراف العقد يساوي انحراف الكابولي. إذا كانت الانحرافات التي تم حسابها لا تساوي الأحمال الجديدة يتم افتراضها لحين وجود التوزيع الذي ينتج انحرافات متساوية لكل من العقد والكابولي.

نظرًا لأن الطريقة هي بالمحاولة والخطأ فإنها كانت تعتبر شاقة. ولكن، مع وجود الحاسب الآلي الرقمي الحديث، فإنه يمكن عمل الضبط بسهولة. ولكن نظرًا لأن طريقة محاولة الحمل ليست مبنية على مبادئ راسخة لتحليل العقد، فإن النتيجة المعطاة بهذه الطريقة يمكن أن تنتج ظواهر غير مرغوبة. فمثلاً، في حالة سد (Boulde) في الولايات المتحدة التي استخدمت فيه وجد أن التأثير الرأسي أو الكابولي يسبب الجهود العالية للشد لتظهر عند قاعدة السد متطلبة اتساع قاعدة السد.

الفصل الثالث عشر

السدود الترابية Earth Dams

مقدمة:

السدود الترابية التي تشمل كلاً من سدود الردم الترابي (Earth Fill) والردم الصخري (Rock fill) المستخدمة للمواد الطبيعية المتاحة مثل التربة الرملية، الطفلية والصخرية مع أدنى أعمال لإنشاء الدعائم. تلك تسمى كذلك بالسدود الترابية الداعمة (Embankment Dams). بينما كانت السدود القديمة المعروفة صغيرة الحجم ومصنوعة من مواد التربة، فإن السدود الأخيرة أنشئت بأحجام أكبر ومن مواد البناء وخاصة من الخرسانة. ولكن مع التطوير الحديث نحو ترشيد الأداء الهندسي في كل من التصميم والإنشاء وكذلك لإتاحة معدة إزالة التربة، فقد أصبح هناك توجه كبير نحو إنشاء السدود الترابية بديلاً عن السدود الخرسانية. بجانب الميزة الكبيرة نحو تأسيس السدود الترابية على التربة العادية الجيدة، فإن تلك السدود أقل في تكلفة الإنشاء مقارنة بسدود التثاقل وسدود العقد، ويمكن أن تكون بنفس الارتفاع أو أعلى، مع الاستفادة من المواد المتاحة للاستخدام في الإنشاء وهي مناسبة تحديدًا للمناطق الزلزالية (seismic) بسبب توافقها الجيد مع الزلازل. ولكن، إنشاء السد الترابي هو عمل تخصصي يتطلب مهارات هندسية عالية والحرص حيث أن أى هبوط يمكن أن يؤدي بسهولة إلى انهيار السدود. من أمثلة السدود الترابية الضخمة سد (Nurek) في الاتحاد السوفيتي (سابقًا) ارتفاع ٣٠٠متر، سد ميكا في كندا بارتفاع ٢٤٢ متر متر، سد أوفيللي في أريكا بارتفاع ٢٣٥ متر وسد نهيري في الهند بارتفاع ٢٦٥متر.

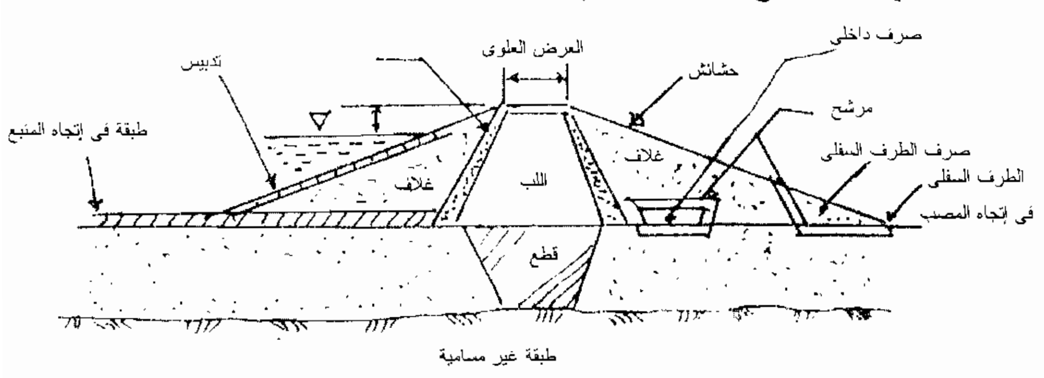
٢- مكونات السدود الترابية ووظائفها:

Components of Earth Dams and Their Functions:

الأجزاء المكونة للسد الترابي ووظائفها سيتم تناولها كالآتي انظر الشكل (١٣/١).

القلب أو اللب (Core) والذي يسمى (Hearting) وهو حائط مركزى مانع لنفاذ المياه عادة من الطفلة ومادة ناعمة والذي يمتد من مستوى سطح الأرض حتى أعلى منسوب للفيضان. وهو يحجز التدفق الحر للماء في مقطع السد.

الغلاف (Shecll) ويسمى كذلك الغطاء (Casing) وينشأ من مواد أكثر خشونة عن حائط اللب ويمتد في شكل الكتف على كلا جانبي اللب. وهو بذلك يوفر الدعم الإنشائي للب ويوزع الحمل بالتساوي على الأساس.



شكل (١٣/١) مكونات أجزاء السد الترابى (نوع المناطق)

<u>مرشح الانتقال (Transition filter):</u> يوضع ما بين اللب والغلاف، مرشح الانتقال يمنع حركة المادة الحبيبية الناعمة في اللب إلى الفراغات في مادة الغلاف، ذات الحبيبات الخشنة.

<u>الطبقة في اتجاه المنبع: Up stream Blanket:</u> وهذه طبقة من مادة غير مسامية (عادة من الطفلة) موضوعة إلى الخارج على مستوى الأرض الطبيعية على الجانب في اتجاه المنبع (Up stream) وهي تزيد من مسار الماء المرتشح أو المتحلل (Percolation) وذلك لخفض ضغط التسرب.

القطع (Cut off): القطع هو حاجز غير مسامي(Impervious) يتكون في مركز القاعدة لتربة السد ويمتد من اللب إلى الأساس إلى العمق حيث الوصول إلى الطبقة غير المسامية. نظرًا لأن القطع يعمل على إيقاف تدفق الماء وزيادة مسار الرشح، فإنه يكون مناسبًا من الناحية العملية حيث يكون الأساس بنفسه غير قادر على المقاومة في حالة التسرب.

الصرف الداخلي (Internal Drain)

قادر على حمل أي تسرب يخترق لب القطع بعيدًا The core of The cut off. وهو كذلك يمنع التشبع للجزء العلوي للغلاف في اتجاه المصب بسبب سقوط الأمطار. وهو يتطلب مرشح حماية لمنع الحمل للجسيمات بواسطة الماء المتحرك نحو نظام الصرف وبذا انسدادها.

الصرف عند طرف السطح في اتجاه المصب (Toe Drain):

هذا الصرف يتم توفيره عند طرف السد تحت التيار ويقوم بنفس الغرض مثل الصرف الداخلي. وهو يتكون من مرشح متدرج من مادة دقيقة نسبيًا قرب محيط الصرف ومادة خشنة قرب المركز الذي يتجمع فيه الماء المتسرب ويتحرك إلى النقطة حيث يمكن صرفه بأمان. وهو يمنع عمليًا حدوث مستنقع أو أرض موحلة.

يتم تجهيز دكة من الحجارة (Rip Rap) للحماية على الأسطح المائلة وذلك في اتجاه المنبع عمومًا، وأحيانًا في اتجاه المصب للسد وذلك لحماية الميول من تأثيرات الموج والأمطار .. إلخ. تتكون البركة الحجرية بسمك من ٠,٦سم إلى ١ متر على طبقة من الزلط السميك بسمك ٣٠سم نوع من الحشائش يسمى (Sod) ينمو على السطح المائل في اتجاه المصب لحمايته ضد غسيل المياه الذي يسببه السقوط الغزير للأمطار وبذا منع تكون سراديب ومسارات على الميل.

٣- تقسيم السد الترابي: (Earth Dam Classification)

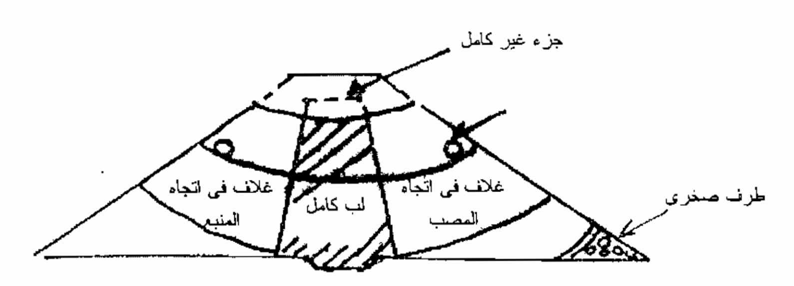
السدود الترابية تقسم عمومًا على أساس طرق الإنشاء المستخدمة مثل سدود الملء بالدلفنة أو الترقيق (Rolled Fill) والسدود بالملء الهيدروليكي.

أ- سدود الملء بالدلفنة أو الترقيق(Rolled Fill Bank)

في سدود الملء بالدلفنة أو الترقيق، يتم إنشاء دعامات الأكتاف في شكل طبقة متتالية مدمجة ميكانيكيًا. يتم تكوين المواد المناسبة من حفر الحفر وتكويمها وبعد إضافة الماء يتم نقلها إلى موقع الإنشاء بواسطة معدة تحريك التربة. يتم بعد ذلك نشرها بواسطة البلد وزارات في طبقات سمك ١٥-٤٥سم، وتوضع على أعلى محتوى من الرطوبة ودمجها جيدًا ثم ربطها والصاقها بالطبقة السابقة بواسطة الهراسات الميكانيكية. الملء بالدلفنة أو التدقيق هو المستخدم عادة في إنشاء السد الترابي.

ب- السدود بالملء الهيدروليكي(Hydraulic Fill Dams)

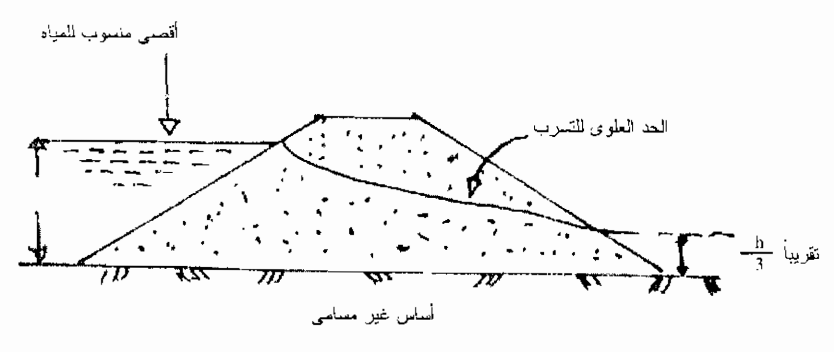
في سد الملء اليهدروليكي، يتم حفر المواد، ونقلها ووضعها بالطرق الهيدروليكية للمسيلات (Flumes) الحاملة للمادة المخلوطة بالماء عند حفره الإمداد بمواد الردم يتم وضعها على طول الطرف الخارجي للكتف الشكل (١٣/٢). عمومًا يتم ضخ المادة وغسيلها بواسطة تلك المسيلات. الوحل (Slush). الناتج يتم صرفه خلال المخارج في المسيلات نحو طول السد على فواصل متساوية. بينما ترسب المواد الخشنة للوحل عند الطرف الخارجي، فإن المواد الدقيقة ترسب نحو المركز مكونة لب مركزي غير مسامي. لا يتم عمل الدمج. بسبب النقص في التحكم نحو وضع المادة، ضعف الصرف والترسيب الناتج، فإنه يوجد الكثير من حالات الانهيار لهذا السد. لذلك، فإنه لا يوصي بإنشاء السد بطريقة الملء الهيدروليكي.



شكل (١٣/٢) سد الملء الهيدروليكى للسد

جـ- السد الترابي المتجانس (Homogenous Earth Dam)

كذلك يسمى الدعامة البسيطة (Simple embankment)، نوع السد الترابي هذا ينشأ أساسًا من نوع واحد من المادة، وهي نوع الطفلة الرملية (Sandy Clayey) منساب للأساس غير المسامي، السد له ميول جانبية مائلة نسبيًا لضمان الاستقرار. ولكن بعض التسرب سوف يخرج على الميل في اتجاه المصب إلى ارتفاع تقريبًا ثلث عمق الخزان بصرف النظر عن استواء وعدم نفاذيته التربة الشكل (١٣/٣). نوع السد هذا يكون محدودًا للسدود الصغيرة ذات الارتفاع حتى ١٥ متر.



شكل (١٣/٣) سد ترابى متجانس

بشكل المحددات ذات العلاقة، فإن السد الترابي المتجانس تم استبداله حاليًا بالسد المطور المتجانس (Modified Homogenous Dam) الذي له الخواص الرئيسية للصرف الداخلي المطور والمؤثر، في الجزء في اتجاه المصب وقريبًا من طرف السد نحو المصب رغم توفير بعض الإجراءات مثل ترشيح الصرف، والطرق في اتجاه المصب المملوءة بالصخر (Rock fill Toe) وأنبوب الصرف. فإن تبني مثل هذه الإجراءات يسمح بزيادة شدة الميل وبالتالي زيادة ارتفاع السد.

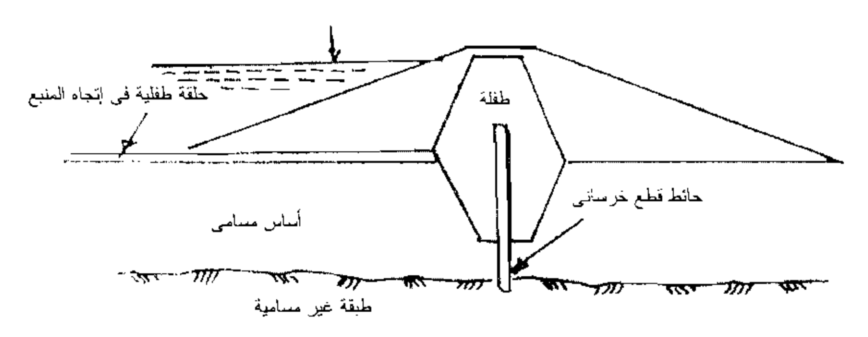
٤- السد الترابي النطاقي (Zoned Earth Dam)

السد الترابي النطاقي يسمى كذلك الدعامة المنطقية (Zoned Embankment)، السد يستفيد باستخدام أكثر من نوع واحد من مواد التربة أي الطفلة، الرمل الدقيق، الطين

الرملي. يتم تقسيم مقطع السد إلى مناطق شكل (١). المنطقة المركزية تعمل من لب طفلي غير مسامي نسبيًا لمنع حدوث التسرب، بينما المناطق الإنتقالية·لغطاء كلا السطحين للب السد لمنع حدود مسارات أنبوبية خلال الشقوق المكونة في اللب. الأغلفة الخارجية (Enveloping outer shells) تكون من مكونات غير مسامية، من التربة الغرينية (الطين الخشن) (Silty) أو من التربة الرملية الطينية (تربة صفراء ·Loamy) ويوفر الاستقرار على وضعه على الميل المناسب، النفاذية تزداد عمومًا من المركز نحو الميول الجانبية. في الحقيقة، بصرف النظر عن اللب المركزي غير المسامى، فإن إجمالي السد يكون جزء من نظام صرف ذو مناطق انتقالية التي تعمل كمرشحات، بينما الغلاف في اتجاه المصعب يسمح بمرور الماء المرشح نحو الصرف الداخلي. هذا بجانب أنه يوجد كذلك توفير مرشحات عند طرف الصرف في اتجاه المصب للتسربات قرب طرف السد في اتجاه الصرف. بسبب تلك المميزات فإن نوع السد هذا يستخدم عادة حالياً.

٥- السد الترابي من نوع الغشاء الحاجز: Diaphragm Type of Earth Dam

هذا النوع من السد الترابي هو حائط ليس مركزي من البناء السميك أو الخرسانة والذي يسمى الغشاء الحاجز، والذي يمتد نحو الطبقة المسامية تحت الأرض ويعمل كحاجز ضد تسرب المياه، بينما المادة المسامية المنفذة المحيطة مثل مواد التربة والتربة توفر الاستقرار. أحيانًا، قد يتضمن الغشاء جدار القطع الخرساني (Concrete Cut off wall) ذو المقطع الرقيق في اللب الطفلي (Clay core) ومرتبط بالطبقة الصخرية أو المادة غير المسامية شكل (١٣/٤). يتم توفير طبقة من الطفلة على السطح المواجه للمنبع لخفض الفقد بالتسرب بسبب عدم التجانس لمقطع السد وحدوث تشققات في جدار الغشاء الحاجز بسبب هبوط الدعائم والأساس، فإن سد الغشاء لا يتم استخدامه حاليًا.



شكل (١٣/٤) سد ترابى من نوع الغشاء الحاجز

الخط الباطني الخاص بالمياه الجوفية: (Phreatic Line)

الخط الباطني هو خط التدفق العلوي الذي يفصل المنطقة المشبعة عن المنطقة غير المشبعة حيث أسفله يوجد ضغط هيدروستاتيكي (ضغط الماء الساكن) في مقطع السد. على طول الخط الباطني، يوجد الضغط الجوي. هذا الخط الذي لا يتأثر وضعه بوجود الأساس المسامي، يكون دائمًا عمودي على السطح المواجه للمنبع والذي يمثل خط متساوي الجهد (Equipotential) بنسبة ١٠٠%، الخطوط المتساوية الجهد التالية تقابل الخط الباطني بفواصل ارتفاع متساوية (Δ h). بالمثل، فإن خطوط التدفق التالية يتم تحديدها على حالة تساوي المسافة بين خط التدفق مع ذلك ما بين خطوط الجهد (Pontential Lines) وبذا تكوين سلسلة من المربعات شكل (١٣/٥).

٦- تحليل شبكة التدفق (Flow Net Analysis)

تحدث كمية كبيرة من التسرب في السد الترابي خلال الأساسات وفي جسم السد خلال المسام ومواد التربة الطفلية المانعة للنفاذ نسبيًا. لتعيين كمية التسرب. فإنه يكون من الضروري تعيين إجمالي التدفق والذي يتطلب تكامل معادلة لابلاس (Laplace Equation) المبنية على قانون داريس (Daryś law) لتسرب المياه خلال التربة. لذلك فإننا سوف نبدأ بمناقشة نظرية التسرب وأهمية معادلة لابلاس قبل التعامل مع التحليل الإجمالي للتدفق.

نظرية التسرب أو الارتشاح (Seepage Theory):

قانون داريس لتسرب المياه خلال التربة يعبر عنه العلاقة التالية:

$$Q = KiA \quad (1)$$

حيث:

Q = معدل تدفق التسرب أو الارتشاح.

i = التدرج في الطاقة (أي الفقد في الضغط الرأسي في وحدة طول الارتشاح خلال التربة).

K = معامل النفاذية

A = مساحة مقطع التربة الذي خلاله يحدث الارتشاح للماء في التربة المتجانسة، K تكون ثابتة عند أي نقطة في كتلة التربة. لذلك فإن معادلة التدفق عند أي نقطة يمكن التعبير عنها في الاتجاهات X ، Y كالآتي:

$$Q_x = K i_x A_x \quad (2\text{-a})$$

$$Q_y = K i_y A_y \quad (2\text{-b})$$

لذلك

$$I_x = \frac{\partial h}{dx} \quad (3\text{-a})$$

$$I_y = \frac{dh}{dy} \quad (3\text{-b})$$

(العلاقة السالبة تبين أن الفقد في الضغط الرأسي يزداد بزيادة طول عينة التربة). استبدال المعادلة (٣) بالمعادلة (٢) والحل لسرعة التدفق فإننا نحصل على

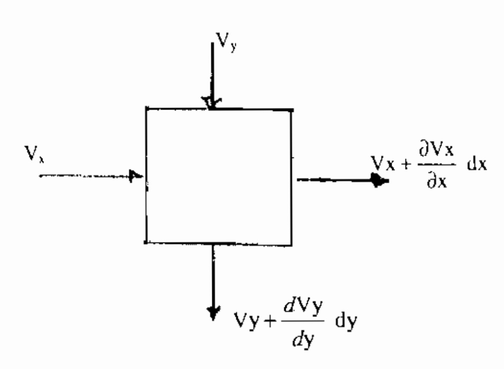
$$V_x = \frac{Qx}{Ax}$$

$$V_x = \frac{K \partial h}{\partial x} \quad (4\text{-a})$$

$$V_x = \frac{-K \partial h}{\partial y} \quad (4\text{-b})$$

في حالة التدفق الثابت لا يوجد تغير في حجم الماء في مسام التربة ومعدل تـدفق الماء إلى عنصر التربة يجب أن يساوي معدل التدفق الماء إلى الخارج.

افترض عناصر صغيرة من التربة ذات الأبعـاد dy, dx وسـمك واحـد شـكل (١٣/٥)



شكل (١٣/٥) تدفق البعدين خلال كتلة التربة

التدفق الداخل $Vx\,dy + Vy\,dx = (\text{In Flow})$ (5)

التدفق الخارج (out Flow) =

$$\left(Vx + \frac{\partial Vx}{dx}dx\right)dy + \left(Vy + \frac{\partial Vy}{\partial y}\right)dx \qquad (6)$$

حيث أن التدفق الداخل = التدفق الخارج في حالة التدفق الثابت، وعند تساوي المعادلة (٥) مع المعادلة (٦) فإننا نحصل على

$$\frac{\partial Vx}{\partial x} + \frac{\partial Vy}{\partial y} = 0 \qquad (7)$$

باستبدال المعادلة (b – ٣) في المعادلة (٧) فإننا نحصل على

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \qquad (8)$$

المعادلة (8) تعرف بمعادلة (Laplace) والتى يمكن التعبير عنها فى الشكل العادى جداً لتكون

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \qquad (9)$$

حيث:

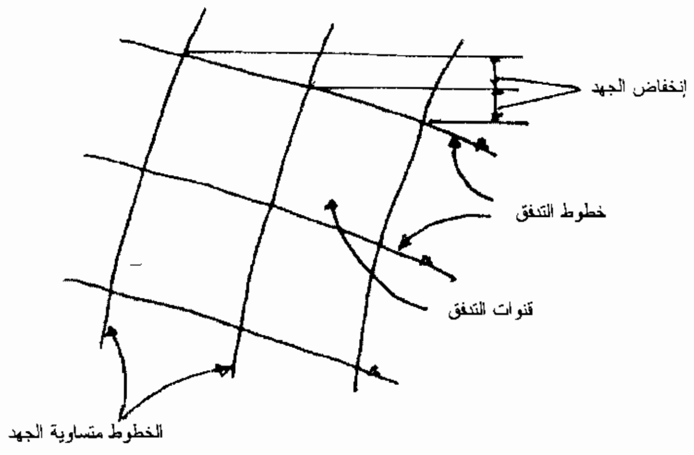
$\varphi = -Kh$ والذى هو التدفق المسبب للجهد.

فى حالة ثبات K، فإن φ هى مقياس مباشر لضغط التسرب.

دلالة معادلة لابلاس:

معادلة لابلاس كما تم تناولها تمثل مجموعتين من المنحنيات، كل مجموعة محتوية على عدد نهائي من المنحنيات المتوازية تقريبًا، وكل منحنى للمجموعة الواحدة يتقاطع مع كل منحنى للمجموعة الأخرى عند زوايا قائمة. أحد مجموعات الخطوط تمثل مسارات التسرب (Trajectories of seepage) وتسمى خطوط التدفق (Flow Lines). ما بين خطى تدفق متجاورين توجد قناة التدفق التي ترسل جزء مثبت من إجمالي ١ك. المجموعة الأخرى تسمى الخطوط متساوية الجهد (Equnipotential lines) التي هي ببساطة كنتورات متساوية الضغط الرأسى الفرق بين أن من الخطوط المتجاورة متساوية الجهد هو فرق الضغط (Potential Drop) أو الفقد في الضغط الناتج كتدفقات مياه التسرب خلال قناة التدفق.

الإطار العام لخطوط التدفق والخط متساوي الجهد يسمى التدفق الشبكي (Flow Net) شكل (١٣/٦).



شكل (١٣/٦) صافى التدفق

خواص منحنيات شبكة التدفق (Properties of flow Net curves)

عند رسم شبكة التدفق للسد الترابي يتم ملاحظة الخواص الآتية للمنحنيات:

١- شكل وتتابع خطوط التدفق يمثل الانتقال التدريجي من واحد إلى آخر.

٢- خطوط التدفق والخطوط متساوية الجهد يجب أن يتقاطع كل منهم مع الآخر عند زوايا قائمة.

٣- خطوط التدفق يجب أن تبدأ وتنتهي عند زوايا قائمة بالنسبة لسطح الأرض في اتجاه المنبع واتجاه المصب على التوالي.

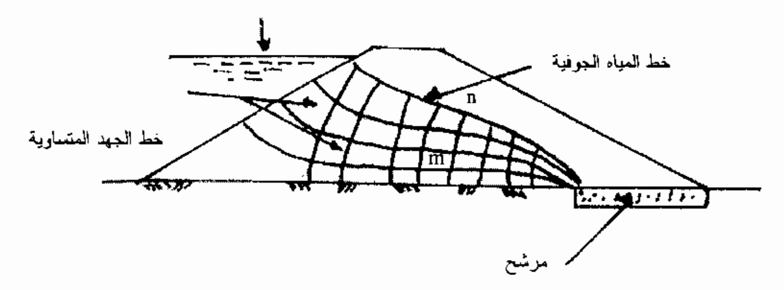
٤- في حالة عدم وجود طبقة في اتجاه المنبع (Up Stream Stratum) فإن خط التدفق يتبنى بالتدريج الشكل شبه البيضاوي.

٥- الخطوط متساوية الجهد يجب أن تبدأ وتنتهي عند زوايا قائمة لأول وآخر خطوط تدفق على التوالي.

٦- أي مربع تم الحصول عليه بتقاطع خطوط التدفق والخطوط متساوية الجهد يسمى الحقل (Field).

٧- في حالة الرسم الجيد للمنحنيات، فإنه يمكن رسم دائرة في كل حقل تمس كل الأجناب الأربع للحقول.

على ضوء الخواص السابقة، فإنه يمكن رسم خطوط التدفق والخطوط متساوية الجهد في شبكة التدفق في جسم السدود في الأساسات. الشكل (١٣/٧) يبين شبكة التدفق المرسومة لسد ترابي متجانس مع توفير مرشح صرف أفقي.

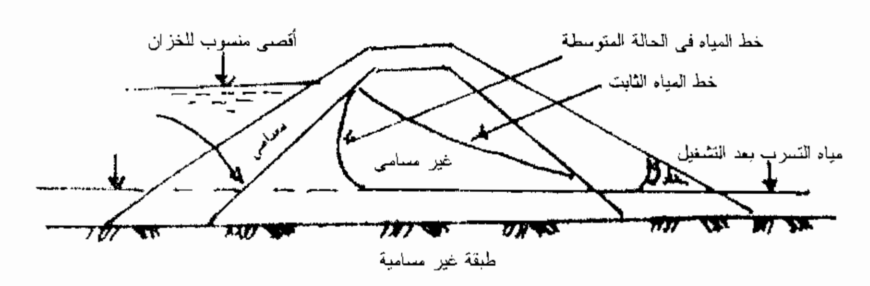


شكل (١٣/٧) صافى التدفق للتسرب خلال السد الترابى المتجانس بالمرشح الأفقى للصرف

الخط الباطنى الجوفى فى السد الترابى النطاقى:

Phreatic Line In Zoned Earth Dam

لتعيين الخط الباطنى الجوفى فى السد الترابى النطاقى، فإنه يمكن تطبيق طريقة كاساجراند (Casagrand's Method) ويمكن تحديد الخط الباطنى خلال اللب غير المسامى لحالة الاستقرار شكل (١٣/٨).



شكل (١٣/٨) خط المياه الجوفية فى السد الترابى النطاقى

الحالة الأولية للخط النطاقي تقابل حالة التناسب قبل امتلاء الخزان. مع امتلاك الخزان وقبل الوصول إلى مستوى الخزان الممتلئ تمامًا، فإن الخطوط الباطنية تمر خلال مرحلة متوسطة. الحالة المستقرة يتم الوصول إليها عند مستوى الامتلاء الكامل عند بداية الخط الباطني عند نقطة التقاطع لمستوى الخزان مع اللب غير المسامى وينتهي عند تقاطع ميل اللب في اتجاه الصب مع أدنى وضع لخط التسرب. رغم أن التربة قد تكون مشبعة بفعل الخاصية الشعرية فوق هذا الخط بما يرفع خط تشبع التسرب إلى جزء أسفل الخط الباطني.

يمكن الإشارة إلى أن وضع الخط الباطني يتوقف فقط على هندسة المقطع ويتوقف على نوع التربة ذات النفاذية المختلفة ولكن لها نفس نسبة النفاذية الأفقية إلى الرأسية. فمثلاً، لنفس مقطع السد، فإنه يتم تحديد الخط الباطني في حالة الاستقرار في كل مَن الطفلة وكذلك في الرمل رغم أن كمية التسرب تكون أعلى كثيرًا في حالة الرمال.

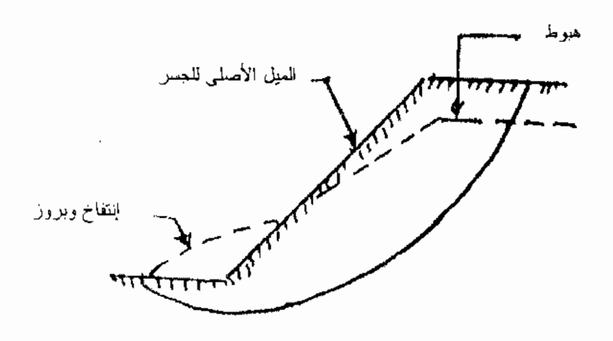
ضغط الثقب الدقيق (Pore Pressure):

كتلة التربة تشمل الجسيمات الصلبة، والفراغات المملوءة بالماء والهـواء. عنـد تحميل كتلة التربة الرطبة بدون السماح للماء أو الهواء بالهروب، فإن جزء من الحمل يسبب التشويه اللدن لحبيبات التربة بدون تغير حجمهم الصلب ويسمى الإجهاد المؤثر (Effectives stress). جزء الحمل الباقي يحمل بواسطة الإجهاد فـي المـاء والهـواء المحجوز في الفراغات ويعرف بضغط ثقب الماء أو باختصار ضـغط الثقـب (Pore pressure). بسبب أن ضغط ثقب الماء يعتمد على قابلية الانضغاط للتربـة المدمجـة وكمية الهواء الموجودة فيه، فإنه ينتج ضغوط أكبر عند دمك التربة قريبًا من التـشبع. ولذلك، يكون من المناسب عمليًا في إنشاء السد العالي الترابي الممتلئ دمـك التربـة الملتصقة مع الماء إلى أقصى أدنى محتوى من الرطوبة لأقصى كثافة جافة للمراقـب (Proctory Dry Density).

يحدث ضغط تثبت كبير خلال وبعد إنشاء السد الترابي مثل امتلاء الخزان. فـي الحال مع إنشاء السد، تكون كتلة التربة تحت الضغط بـسبب الثقـل الفـوقي وبـدون الصرف للتربة الرطبة المدمجة ونتيجة لذلك تحدث ضغوط صـافية (Sizeable pure pressures). ولكن هذا يتم بتدرج تشتتها مع إعادة توزيع رطوبة التربة. مـع امـتلاء الخزان، فإن الماء يعود إلى الدخول في الفراغات ويحدث شكل آخر لضغط الثقب. في حالة استقرار حالة التسرب فإن الضغط الرأسي للثقب عند أي نقطة يساوي الـضغط الهيدروستاتيكي بسبب ضغط الماء في الخزان أقل من فقد الضغط في التسرب خـلال السد إلى هذه النقطة. ضغط الثقب يمكن إيجاده من شبكة التدفق بالفرق في الارتفـاع بين نقطة معينة على حقل شبكة التدفق والنقطة المقابلة لتقاطع الخط متساوي الجهد مع الخط الباطني شكل (٧). هذا الفرق في الارتفاع سوف يقابل كذلك الى الارتفاع الـذي سوف يصل إليه الماء في الأنبوب البيزومتري (Piezometer) بفتحة عند m.

تحليل استقرار الميل: (Slope stability Analysis)

الانهيار العادي للسد الترابي يتكون من انزلاق كتلة ضخمة من التربة على طول السطح المنحنى شكل (١٣/٩).



شكل (١٣/٩) مقطع للإنهيار بالإنزلاق

لهذا فإن استقرار السد الترابي يتحدد بقدرته على مقاومة إجهاد القص الناتج من الأحمال المسلطة الخارجية مثل الخزان والزلزال ومن قوة الجسم الداخلية بسبب وزن التربة وميول السد. قوى الجسم الداخلية والخارجية تنتج كذلك إجهادات ضغط عمودية على جهد سطح الانزلاق، والذي يساهم في كل من قوة القص للتربة وكذلك لإحداث ضغوط الثقب (Pore pressures).

لقد وجد (Terzaghi) أن إجمالي الإجهاد العمودي على أي سطح يتكون من الإجهاد المؤثر (Effective stress) وضغط السائل.

لذلك فإن إجمالي إجهاد الضغط العمودي يمكن توضيحه رياضيًا كالآتي:

$$\sigma = \sigma' + u$$

حيث:

σ = إجهاد الضغط العمودى

σ' = الإجهاد المؤثر

u = ضغط ثقب الماء

قوى القص على طول سطح يتم الحصول عليها من معادلة كولومب.

$$S = C + (\sigma - u) \tan \varphi \qquad (10\text{-a})$$

أو

$$S = C + \sigma' \tan \varphi \qquad (10\text{-b})$$

حيث:

C = التماسك (Cohesion) الذى قيمته للرمل تكون صفر وللطفلــة مــابين ٥-٦٠ كيلو نيوتن/المتر المربع.

φ = زاوية الاحتكاك الداخلي.

المعادلة (١٠) يمكن أن تدل على أن جزء التجزئة المقاومة على طــول الــسطح يقل بفعل ضغط ثقب الماء.

تم اقتراح طرق مختلفة لحساب استقرار السد الترابي. عمومًا، تلك الطرق مبنيــة على قوة القص للتربة وفرضية معينة بالنسبة لطبيعة انهيار الدعامة. طريقة إنــزلاق الحلقة (Slip Circle) التي اقترحها المهندس السويدي هي المستخدمة عادة.

طريقة انزلاق الحلقة (Slip Circle Method)

الطريقة الأساسية تفترض أن انهيار السطح هو قوس من دائرة في المقطع. توجد عزوم حول مركز الدائرة، بواسطة القوى الداخلية والأحمال الخارجية متــضمنة وزن كتلة التربة، القوة الناتجة عن ضغط الماء على سطح الميل.. إلخ. تلك العزوم تعمــل على إحداث الانقلاب (Overturning) (∑ Mo) وبالتالي الانهيار. عزوم المقاومة يــتم توفيرها بمقاومة القص على طول سطح الانهيار زائد أي مقاومة توفرهــا تكويمــات المنشآت التي تمتد خلال سطح الانهيار. تأمين الميل يتم بواسطة النسبة بين المقاومــة إلى عزوم الانقلاب، والتي يجب أن تكون أكبر من الواحد الصحيح.

لتعيين الاستقرار لميل مقترح مثل الدعامة الكتفية فإنه يكــون مــن الــضروري محاولة كثير من الدوائر المختلفة. الدائرة التي تعطي أدنى عامل أمان هــي الأكثــر حرجًا. عدد الدوائر يتحدد طبقًا للخبرة.

التحليل الأساسي كما تم وصفه يستخدم لأي تربة حيث تكــون مقاومــة القــص مستقلة عن الضغط العمودي على سطح الانهيار. في التربــة، حيــث القــص يتــأثر بالضغط المحصور (Confining)، فإن الإجهاد المؤثر على كل جزء من قوس الانهيار يجب أن يتم تعيينه لحساب قوة القص. لذلك، لا يوجد تحليل مضبوط لهــذا، تــستخدم

تقريبات مختلفة، من هذه طريقة الشرائح هي التي يعتمد عليها وهي المستعملة على نطاق واسع.

طريقة الشرائح (Method of slices)

هذه تفترض حالة من الشد البسيط (Plain strain) لمنع الانهيار على طول حلقة اسطوانية. الطريقة تتكون من تقسيم كتلة التربة لقوس الانهيار (مع افتراض مركز للقوس) إلى عدد من الأقسام العمودية المسماة الشرائح الشكل (٤/١٠)، ثم وضع القوى التي تعمل على أجناب كل حلقة، ثم مساواتها بالصفر لحالة الاتزان شكل (٤/١١).

العزم الذى يعمل على تدوير كتلة التربة حول O هو

$$Mo = \sum Wx$$
$$= W_1 x_1 + W_2 x_2 + W_3 x_3 + W_4 x_4 + W_5 x_5 + W_6 x_6$$

حيث كلاً من x_1، x_2 ... الخ هم ذراع العزم لكل قسم

عزم المقاومة يتم توفير بإجهادات القص المماسة العاملة على قوس الانهيار

$$Mr = \sum s\ DL.\ r$$

حيث:

s = قوة القص للتربة.

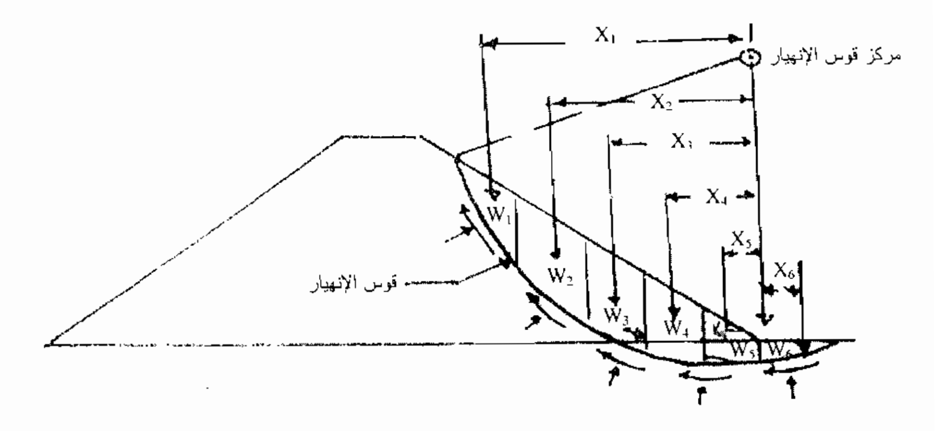
L = طول قوس الانهيار للجزء

r = نصف قطر قوس الانهيار.

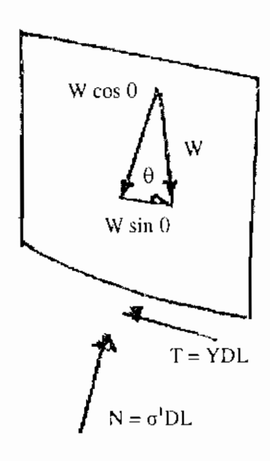
قوة القص للتربة يتم الحصول عليها باستخدام معادلة كولومب.

يتم اختبار استقرار السد بأدنى عامل أمان على طول قوس الانهيار المفترض. هذا يعني احتمال انهيار العديد من الأقواس التي يلزم محاولتها. ولكن معامل الأمان يجب أن يكون أكبر واحد.

معامل الأمان = $1 < \frac{Mr}{Mo}$



شكل (١٣/١٠) تحليل الاستقرار بطريقة الشرائح



شكل (١٣/١١) مخطط الجسم الحر للقوى التى تعمل على جزء القوس

استقرار الميل في اتجاه المنبع أثناء الانخفاض السريع:

Stability of up stream Slope During Rapid Draw Down

تحليل الاستقرار للسد الترابي في حالة استقرار التسرب تم مناقشتها في البند السابق. بعد وضع الخزان في الاستخدام، فإن الانخفاض السريع يحتمل أن يكون له تأثير سالب على تأمين ميول الدعائم. تحديدًا للميل في اتجاه المنبع، فإن الانخفاض المفاجئ بدون أي تغير ملموس في منسوب الماء خلال الكتلة المشبعة للتربة قد يسبب خفض في قوى المقاومة التي ينتج عنها انزلاق السطح المائل. هذا للأسباب الآتية:

١- خط التشبع مازال أعلى حيث الصرف ليس بالسرعة مثل الانخفاض، نتيجة لـذلك فإن ضغوط الثقب لا يتم تشتتها في الحال.

٢- الانخفاض يزيل الماء فوق الميل في اتجاه المنبع للسد والذي يساهم بوزنـه فـي استقرار كتلة تربة السد. لإيقاف التلف، الإجراءات المقترحة هي:

- توفير حماية للميل بدكه من الحجارة أو الرصف الخرساني.
- تحديد معدل الانخفاض.
- أن يكون ميل السطح في اتجاه المنبع أقل حدة عن السطح في اتجاه المصب.

انهيار السدود الترابية: Failure of Earth Dams

الأسباب الرئيسية لانهيار السدود الترابية هي الأساسات الضعيفة وغير المسامية، الفيض غير المناسب، ضعف الإنشاء، وعدم مساواة الرسوخ (Uneven settlement).

انهيارات السدود الترابية يمكن تقسيمها إلى ثلاث أنـواع: وهـي هيدروليكيـة، وتسرب، إنشائية، يقدر أن الانهيارات الهيدروليكية تشكل ٤٠% من كـل الانهيـارات والباقي ٦٠% مناصفة بين التسرب والإنشائية.

الانهيارات الهيدروليكية (Hydraulic Failures)

وهذه تكون بسبب العوامل الآتية:

أ – التدفق العلوي فوق السد Over topping

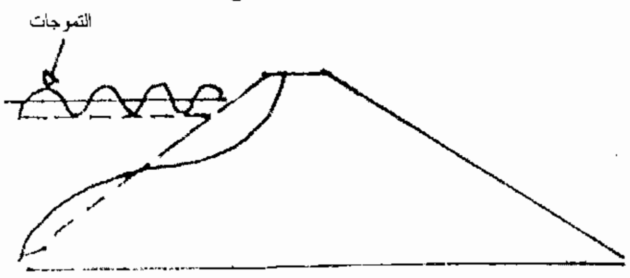
التدفق العلوي فوق قمة السد يعني أن مستوى الماء في الخزان قد يرتفع فوق قمة السد ويتدفق خلال مقطع المفيض Spill way Section. هذا التدفق العلوي قـد يكـون بسبب أي من الآتي:

- تدفقات الفيضانات الحقيقية التي تصل إلى الخزان. قد تكون أكثر كثيرًا عن تصميم الخزان بينما المفيض يكون ذو طاقة غير مناسبة لصرف التدفقات.
- عدم كفاءة الخلوص (الفرق بين خط التـصريف وقمـة الـسداد أو سـيل المـاء Freeboard حيث النتيجة أن الرياح الشديدة وفعل الأمواج السطحية يكـون كافيًـا ليتسبب في الانسكاب (Spillage).

- العيوب أو عدم التشغيل لبوابة المفيض ومعدات العمل الأخرى فـي وقـت ذروة المفيض قد يسبب زيادة الضغط (Heading up) أو زيادة التدفقات في الخزان والذي ينتج عنه التدفق العلوي فوق قمة السد (overtopping) أو انفجار السد.

ب- *تأثير الموج (Wave Action)*

أمواج الريح الكاسحة على قمة سطح الماء تسبب دحرجـة اسـطوانية (Rollers) انظر الشكل (١٣/١٢) والذي يميل إلى غرف التربة من سطح الميل المواجهة للمنبـع عدا في حالة حماية ميل الجسر الترابي بوساطة توفير الدكة الحجرية. أحيانًا، تـسبب الأمواج كذلك انزلاق لجزء من الميل المواجه للمنبع.



شكل (١٣/١٢) التموجات بفعل الموج

جـ- *برى طرف السد في اتجاه المصب (Toe Erosion):*

يكون بسبب تأثير مياه الصرف السفلي (بعد التشغيل) أو بسبب التيـار المتقـاطع (Cross-current) الذي قد ينشأ من جيوب المفيض أو مساحات الخروج للمخارج عنـد طرف السد في اتجاه المصب. يمكن منع حدوث ذلك بتوفير دكه حجرية على سـطح الميل في اتجاه المصب إلى ارتفاع أعلى قليلاً عن مستوى مياه الصرف (Tail water).

د- *تكوين الأخدود أو ميل الماء (Gullying)*

الأخاديد أو مسيلات الماء تتكون على ميل السد المواجـه للمنبـع بـسبب شـدة الأمطار. يمكن منع وجود تلك الأخاديد بتوفير مـسطحات (Berms) علـى فواصـل مناسبة وكذلك بالتغطية بالتربة المحتوية على العشب وجذوره للميل وكذلك توفير نظام صرف جيد.

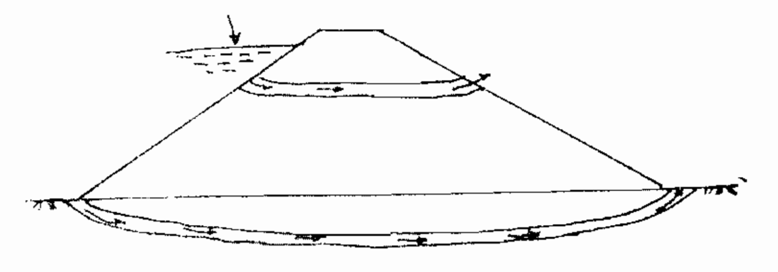
الانهيار بالتسرب: (Seepage Failure)

رغم أن التسرب خلال السد لا يمكن تجنبه، إلا أن أي تسرب زائد وغير محكم خلال مقطع السد والأساس قد يؤدي إلى حدوث مسارات موحلة (Piping And Sloughing) مسببة انهيار السد.

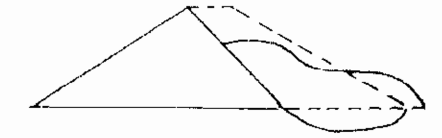
المسارات (Piping) هو نوع من تكوين الأنبوب المفتوح خلال كتلة التربة الشكل (٢٢) بسبب البرى الداخلي لكتلة التربة بدءًا من المخرج نحو الاتجاه الخلفي.

الغليان (Boiling) والذي هو مصاحب لأنبوب المسارات المفتوح عبارة عن رفع كتلة تربة السد الترابي على الجانب في اتجاه المصب بالتدفق المختلف في ضغط الثقب (Differential pore pressure) يؤدي كذلك إلى البرى. الانهيار الكلى للسد.

الوحل (Sloughing): الوحل هو خلق مستنقع ويحدث عندما يكون طرف السد في اتجاه المصب في حالة الخزان الممتلئ قد أصبح مشبعًا بسبب التسرب وضعف الصرف والبرى منتجًا هبوط قليل (Small Slump) أو انزلاق صغير شكل (١٣/١٤). الانزلاق يصبح مشبعًا ويهبط ثانيا. مع تقدم واستمرار الوحل فإن الجزء المتبقي من السد يصبح رقيق جدًا لمقاومة ضغط الماء ويمكن أن ينهار فجأة. كل من المسارات الأنبوبية والوحل يمكن منعه بتحقيق الصرف المناسب لمياه التسرب وتوفير المخارج التي تسمح للماء بالهروب مرة ولكن مع الاحتفاظ بالتربة وثباتها.



شكل (١٣/١٣) المسارات الأنبوبية خلال السد والأساس



شكل (١٣/١٤) الإنزلاق فى إتجاه المصب بسبب الوحل

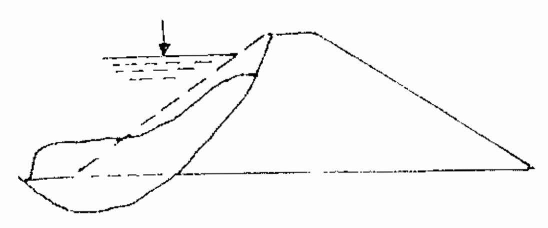
الانهيار الإنشائي (Structural Failure)

يحدث ذلك في حالة الإجهادات الناتجة بسبب الحمل على السد بما فيها وزنة تزيد كثيراً عن إجهاد القص لكتلة تربة السد وقوة الأساس.

الانهيار الإنشائي يمكن أن يكون بسبب الآتي:

أ- انزلاق الأساس (Foundation slide)

عندما يكون أساس السد ضعيفًا، أي من الطين الرملي الدقيق أو التربة اللينة أو به شروخ طفلية ضعيفة، فإن سطح السد يمكن أن ينزلق مسببًا الانتفـاخ الخـارجي للأساس.



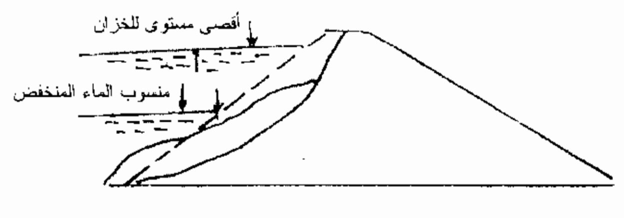
شكل (١٣/١٥) إنزلاق الأساس

ب – انزلاق التدفق (Flow Slide):

وهذا يحدث بسبب سيولة تربة الأساس المتضمنة الرمل المفكك أو الطين الرملـي عندما ينهار سطح السد على أساسه.

جـ- الانخفاض المفاجئ(Sudden Drawdown)

الانخفاض المفاجئ فى حالة الخزان الممتلئ خلال العمل هي الحالة الأكثر حرجًا لاستقرار السد. خاصة في حالة شدة الميل للسطح المواجه للمنبـع أو أن التربـة المستخدمة في إنشاء السد ذات نوعية ضعيفة ولم يتم دكها بطريقة صحيحة، فـإن الانخفاض المفاجئ للماء قد يسبب الانزلاق للـسطح المواجـه للمنبـع (الـشكل ١٣/١٦)، يسبب الفقد في الضغط الهيدروستاتيكي الذي يعمل على الميل في اتجاه المنبع والذي بخلاف ذلك له تأثير استقرار على مقطع السد.



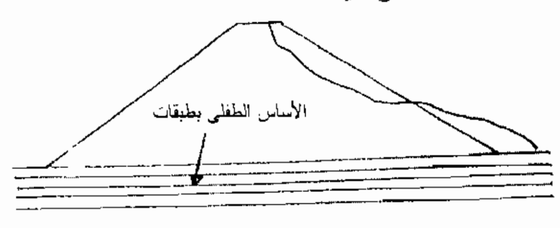
شكل (١٣/١٦) الانهيار بسبب الإنخفاض المفاجئ

د- انزلاق الميل في اتجاه المصب (Down stream slope slide)

كذلك فإنه في حالة شدة الميل لسطح السد المواجه للمصب وأن التربة المستخدمة ضعيفة مع عدم الدمك الجيد وأن الخزان عند أقصى منسوب للمياه، فإن معدل التسرب سيكون كبيرًا لأي حالة صرف غير مؤثرة فإن ضغوط ثقب الماء أسفل خط التشبع قد ترتفع كثيرًا مقللة الإجهاد المؤثر وقوة القص بما يسبب الانهيار في شكل انزلاق الميل في اتجاه المصب.

هـ- الانتشار (spreading)

عند وضع السد الترابي على أساس ضعيف متضمنًا طبقات من التربة اللينة، الطفل، فإن الانهيار قد يحدث خلال انتشار ميل الدعامة.



شكل (١٣/١٧) الانهيار بالانتشار

الانهيار بسبب الزلازل (Failure Due to Earthquakes)

انهيارات السد الترابي بسبب الزلازل تكون بسبب التأثيرات التالية:

- التسرب والمسارات الأنبوبية بسبب التشققات الناتجة في لب السد.
- هبوط القمة بسبب ضغط أساس الدعامة. هذا يقلل من الخلوص (Freeboar) ويزيد من فرص التدفق فوق القمة (Overtopping).

- انزلاق القص لجزء كبير من ميول السد بسبب التسارع على الدعامة (Acceleration On the Embankment).
- اهتزاز قاع الخزان مسببًا موجات بطيئة.
- انزلاق جانب التل الطبيعي مسببًا التدفق العلوي والتلف للمنشآت التابعة للسد.
- سيولة الرمل أسفل الأساس.
- تحرك الصدع مسببًا خفض في طاقة الخزان وبالتالي التدفق العلوي فوق قمة السد.

اعتبارات التصميم في السدود الترابية:

١ - *قاعدة أو معيار التصميم (Design criteria)*

المطلب الأساسي في تصميم السد الترابي هو بتوفير منشأ بأقل التكاليف والذي يظل آمنًا ومستقراً في كل مراحل الإنشاء والتشغيل للخزان. لتحقيق ذلك فإنه يجب تحقيق الاعتبارات الآتية:

١- الحاجز الترابي (Embankment) يجب أن يكون آمنًا ضد أي تدفق علوي عن طريق فعل الموج أو خلال حدوث فيضان، تصميميًا من خلال توفير مفيض وطاقة خروج كافية.

٢- ميول السد الترابي يجب أن تكون مستقرة في كل حالات الإنشاء وتشغيل الخزان بما في ذلك الانخفاض المفاجئ في محتوى الخزان.

٣- يجب أن يتم تصميم السد الترابي بما لا يشكل إجهادات زائدة على الأساس.

٤- يجب التحكم في تدفق التسربات خلال السد والأساس بما يمنع حدوث مسارات أنبوبية (Piping) أو برى داخلي آخر وكذلك الوحل في منطقة المخرج حيث تخرج التسربات.

٥- الميل المواجه للمنبع يجب أن تتم حمايته ضد البرى الناتج عن تأثير الموج، وكذلك حماية القمة العليا والميل في اتجاه المصب ضد البرى بسبب الأمطار والرياح.

٢- تصميم السد أو الحاجز الترابي: *Embankment Design*

لتحقيق القواعد التصميمية السابقة، فإنه يجب تصميم السد الترابي لتحقيق أقصى استخدام لمواد الإنشاء بما في ذلك مواد الحفر للأساس وذلك بهدف خفض التكاليف، جدوى استخدام مواد الحفر عندما تشكل هذه نسبة كبيرة من مادة السد الترابي تعتمد على تسلل عملية الإنشاء. فمثلاً، نظرًا لأنه يجب توفير مساحة تشوين كبيرة لاستخدام المواد (تربة، صخور) الحفر من مفيض الجسر بدون تشوين، حفر المفيض يمكن تأخيره حتى توفير المساحة المطلوبة لتفادي تهدير كميات كبيرة من تلك المواد.

بالإضافة إلى ما سبق، يجب إعطاء العناية المناسبة في تصميم المكونات الأخرى للسد الترابي كالآتي:

أ – ميل السد الترابي:

تلك هي الميول المطلوبة لاستقرار السد على أساس ثابت ومستقر. كلاً من الميول في اتجاه المنبع وفي اتجاه المنصب للسد الترابي تتوقف على (١) طبيعة المواد المستخدمة المكونة للسد (٢) ارتفاع السد (٣) نوع السد أي متجانس، نطاقي (Zoned)، من نوع الغشاء الحاجز (Diaphragm).

لقد أوصى (Terzaghi) لميول تلك الحالات كما في الجدول التالي:

جدول (١٣/١) الميول المقترحة للسد الترابي

م	نوع السد	نوع المادة	الميل في اتجاه المنبع	الميل في اتجاه المصب
١	متجانس	متدرجة جيدًا	٢,٥ : ١	٢ : ١
٢	متجانس مطور			
	أ- ارتفاع أقل من ١٥ متر		٢,٥ : ١	٢ : ١
	ب – ارتفاع يزيد عن ١٥ متر		٣ : ١	٢,٥ : ١
٣	نطاقي واللب من الطفلة	رمل أو رمل وزلط	٣ : ١	٢,٥ : ١
٤	الغشاء الحاجز حيث جدار اللب من الخرسانة	رمل أو رمل وزلط	٢,٥ : ١	٢ : ١

عمومًا الميول في اتجاه المنبع هي ٢,٥ : ١ أو ٣ : ١ بينما الميول في اتجاه المصب تكون ٢ : ١ أو ٢,٥ : ١

ب- عرض قمة السد (Crest Wedth)

عرض القمة للسد الترابي يبنى أساسًا على أساس أن مستوى الخزان ممتلئ، التدفق العلوي (Top Flow)، أي الخط الجوفي يكون محصورًا في السد.

أدنى عرض يكون بحيث يتم توفير تدرج آمن في التسرب عند هذا المستوى. نظرًا لأنه من الصعب تعيين هذا العامل عمليًا، فإن عرض القمة يتم تعيينه باستخدام المعادلة الآتية:

(i) $B = \frac{H}{5} + 3$ بالنسبة للسد المنخفض

(ii) $B = 1.65\,(H + 1.5)^{1/3}$ بالنسبة للسدود أعلا من ٣٠ متر

حيث:

B = عرض القمة بالمتر.

H = ارتفاع السد أو الجسر مقاس من أدنى مستوى في طبقة المجرى (متر)

اعتبارات أخرى مثل الارتفاع وأهمية السد، ومتطلبات الطرق عمليًا للإنشاء والقدرة على مقاومة صدمات الزلازل، تلك لها علاقة عند اختيار عرض القمة. عمومًا، عرض القمة يكون من ٦ متر إلى ١٢ متر للسدود المنخفضة والعالية.

جـ- الخلوص الحر (Free Board) بين سطح الماء وقمة السد:

الخلوص الحر هى المسافة العمودية بين مستوى الخزان الممتلئ وإرتفاع قمة السد. الخلوص الحر يتم توفيره بحيث أن الامواج التى تدفعها الرياح على سطح الماء لاتكون قادرة على اجتياز قمة السد. حيث أن الخزان له مستوى تخزين عادى ومستوى أقصى، فإن الخلوص الحر يتم تصميمه على أساس أدنى خلوص حر، والخلوص الحر العادى.

أدنى خلوص حر (Minimum Free Board): الذى هو الفرق فى الارتفاع بين أقصى مستوى للخزان وإرتفاع قمة السد يتم توفيره لمنع حدوث تأثير الموج على تخطى المياه لقمة السد (Overtopping) والذى يمكن أن يتطابق مع حدوث دخول تدفقات الفيضان المصمم (In Flow Design Flood).

تعيين الخلوص الحر يتطلب إيجاد إرتفاع الموج بفعل الرياح فى الخزان، سرعة الرياح، ومدتها، ومداها (Fetch) وعمق الماء وعرض الخزان. تستخدم لهذا الغرض معادلة (Molitor):

فى حالة مدى الموج (Fetch) أقل من ٣٢ كيلومتر

$$Hw = 0.032\sqrt{V.F} + 0.763 - 0.2714\sqrt{F}$$

فى حالة مدى الموج (F) أكبر من ٣٢ كيلومتر

$$Hw = 0.032\sqrt{V.F}$$

حيث:

Hw = ارتفاع الموج بالمتر

V = سرعة الرياح (كيلومتر / الساعة)

F = مدى الموج أو الطول المستقيم لإمتداد الماء (كيلومتر).

الخزان الممتلئ أو أقصى منسوب للخزان و ٧٥% من أقصى سرعة للرياح يتم أخذهم فى الإعتبار عند حساب الخلوص الحر.

طبقاً لتوصيات (USBR) فإن الخلوص الحر المقابل لإرتفاع السد ومختلف أنواع المفيض موضح فى الجدول الآتى:

جدول (١٣/٢) الخلوص الحر الموصى به

طبيعة المفيض (قناة تصريف الفائض من مياه السد)	إرتفاع السد	الخلوص الحر
حر	أى	الأدنى (٢ متر) والأقصى (٣ متر) فوق أعلا منسوب للفيضان
محكم	أقل من ٦٠ متر	٢,٥ متر فوق قمة البوابات
محكم	أكثر من ٦٠ متر	٣ متر فوق قمة البوابات

الخلوص الحر العادي وأدنى خلوص حر يوصي به لمختلف المدى على السدود الترابية بالدكة الحجرية كما في الجدول التالي:

المدى (كيلومتر)	الخلوصي الحر (بالمتر)	
	العادي	الأدنى
١,٥	١,٢٥	١,٠٠
١,٥	١,٥	١,٢٥
٤,٠٠	١,٧٥	١,٥
٨,٠٠	٢,٥	١,٧٥
١٦	٣,٠٠	٢,٠٠

ملاحظة: يمكن زيادة الخلوص الحر بنسبة ٥٠% في حالة توفير رصف (تبليط) ناعم على الميل في اتجاه المنبع.

د- ارتفاع السد (Height of Dam)

ارتفاع السد يؤخذ بالمسافة الرأسية من أساس السد حتى أقصى سطح للمياه في الخزان عند صرف الفائض (Spillway) بالطاقة التصميمية حيث يضاف إليه خلوص مناسب. التجاوز الإضافي للخلوص الحر (١,٥ متر) يعطي كذلك ضد تأثير الثلوج في الأماكن الباردة بما ينتج عنه احتمال تشقق التربة. نظرًا لأن مواد التربة تميل إلى تكوين طبقة مدمجة (Consolidate) تحت تأثير حالات التحميل والتي تسود بعد إنشاء السد، فإنه يمكن إعطاء بعض التجاوز للدمج طبقًا لنتائج الاختبار المعملي.

عادة يكون التجاوز ما بين ٢ إلى ٥% من إجمالي ارتفاع السد. يتم كذلك تـوفير حوائط ساترة (Parapet walls) بارتفاع متر واحد على قمة السد على الجانب المواجـه للمنبع، حيث أن ذلك يوفر عامل أمان إضافي. في حالة السدود الضخمة، يمكن أن يتم دمج تلك كعنصر للخلوص الحر وذلك بإنشائها قوية بما يكفي.

هـ- السطحية الضيقة (Berm):

المسطاح (السطحية الضيقة)، عبارة عن شريط أفقي من الأرض الطبيعية يتـرك في الميل الجانبي للسد الترابي. يتم توفير المسطاح الضيق كذلك على الميول في اتجاه المنبع وفي اتجاه المصب للسد الترابي. وهي تعمل لعدة أغراض كالآتي:

(١) المسطاح يوفر استقرار أكثر بزيادة عرض السد.

(٢) توفر طريق لمرور وسائل النقل الصغيرة المستخدمة في التفتيش.

(٣) خفض البرى السطحي بكسر استمرار الميل الجانبي والمساعدة في توفير بعـض الصرف.

(٤) المسطاح على الميل في اتجاه المنبع يوفر الأساس لحمل طبقة الدكـة الحجريـة لمنعها من الانزلاق أسفل الميل. لهذا السبب، فإن المسطاح يمتد إلى حـوالي ١,٥ متر أسفل أدنى منسوب للمياه.

المسطاح عمومًا لا يقل عرضه عن ٣ متر.

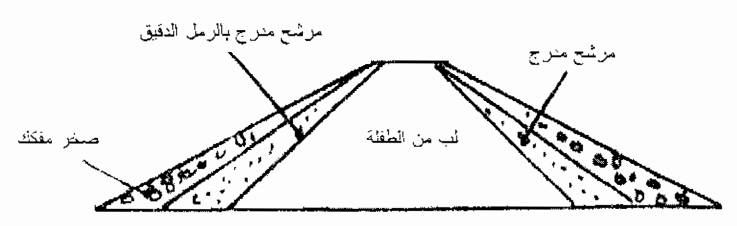
٣- اعتبارات التصميم في المناطق الزلزالية:

Design considerations in seismic Regions:

انهيار السدود الترابية بسبب الزلازل تم مناقشته في البند السابق. للحيطـة نحـو التأثيرات الضارة السابق ذكرها، فإنه يكون من الضروري استخدام التصميم المناسب. وهذا يشمل الإجراءات الآتية:

المادة المسامية غير المتماسكة للترشيح في إتجاه المنبع:
Conesion Less Graded Filter Up stream:

عندما يكون اللب المركزي منشأ من مادة متماسكة فعند حدوث تشققات بسبب الزلازل فإن توفير مرشح في اتجاه المنبع من الرمل الناعم المتدرج الشكل (١٣/١٨) سوف يفيد، ذلك لأن الرمل الناعم من المرشح سوف يتدفق نحو التشققات ويغلقها جزئيًا.



شكل (١٣/١٨) المرشحات المتدرجة الغير ملتصقة

المادة المسامية غير المتماسكة للترشيح في اتجاه المصب:
Cohesion Less Graded Filter Upstream:

التشققات الكبيرة في اللب بسبب الزلزال قد تسبب تسرب شديد ومسارات أنبوبية خلال السد الترابي. توفير المادة المسامية المدرجة غير المتماسكة الموضوعة في اتجاه المنبع للب السد وممتدة حتى قمة السد الشكل (٤/١٨) ، تحقق حماية جسم السد من التسرب ومن المسارات الأنبوبية (Piping). عند وصول مياه التسرب خلال التشققات إلى مادة الترشيح المسامية في اتجاه المصب، إما أن مادة اللب تنتفخ وتحدث القفل للتشققات أو أن الجسيمات لمادة اللب في التشققات يحدث لها اجتراف (Eroded) وتحمل نحو مادة الترشيح المسامية في اتجاه المصب. مادة الترشيح المسامية المدرجة هذه سوف توقف حركة الجسيمات وتغلق التشققات حيث لا يتم تكوين مسارات أنبوبية.

المنطقة في إتجاه المصب عالية المسامية: Highly porous Downstream zone

عند تشقق لب السد بفعل الزلزال، فإنه يمكن أن تصل إلى الجزء في اتجاه المصب كمية كبيرة من المياه، التدفقات الزائدة التي تتكون يجب أن يتم صرفها بسرعة ما أمكن وإلا فإنه يمكن أن يتكون ضغط عالي وحرج للماء على الجانب في

اتجاه المصب. المنطقة في اتجاه المصب ذات الصخر الضخم توفر أفضل جمع لكل من النفاذية والاستقرار لضمان تأمين السد حتى في حالة أن قمة السد تكون معرضة للتدفق أعلاها (Overtopped).

٤- مقطع السد بالقمة الأكثر سمكا: *Thicker top dam section:*

أثناء الزلزال، تهتز قمة السد باتساع يزيد عن ذلك للقاعدة ولذلك يكون أكثر عرضة للتدمير. بعمل قمة السد أكثر سمكًا إما بزيادة عرض القمة أو باستخدام ميول مستوية (Flatter slopes) قرب القمة، والذي يزيد من طول مسار التسرب خلال التشققات بما يزيد من تأمين السد ضد قوى التسرب.

٥- اللب الأكثر سمكاً: *(Thicker Core)*

اللب الأكثر سمكًا يوفر المقاومة الأكبر للمسارات الأنبوبية ويجعل السد آمناً ضد تأثير الزلازل على لوى (Twist) استقامة السد.

٦- معالجة الأساس *(Foundation Treatment)*

نظرًا لأن السد المؤسس على أساس من التربة اللينة يكون أكثر عرضة للاهتزاز في حالة الزلزال، فإن كل التربة اللينة أو المفككة من الأساس يجب أن تتم إزالتها واستبدالها بمواد حجرية مدمجة.

٧- تحليل استقرار الميل مع إسراع الزلزال:
Slope stability Analysis with Earthquake Acceleration:

الزلزال يمكن أن يكون تحت أي من الحالات الآتية لعمل الخزان:

(١) حالة الاستقرار (الخزان ممتلئ)

(٢) الانخفاض المفاجئ (Sudden Draw down)

تلك الحالات شديدة الأهمية لتحليل استقرار السدود الترابية. بالنسبة للميل في اتجاه المنبع، الحدوث المتزامن لتلك الحالات يعتبر من الاحتمالات البعيدة. بالنسبة للميل في اتجاه المصب، فإن الحالة شديدة القسوة هي عندما يكون الخزان ممتلئ وأن يكون السد معرضًا للقوى الهيدروستاتيكية. لذلك فإنه يكون من الضروري مراجعة

الميول للسد مع مراعاة هذه الحالات. عادة تستخدم قوى العجلة الأفقية بالإضافة إلى القوى العادية الأخرى وتخصيص قيم مناسبة للقوة الأفقية – ١/٢٠ إلى ١/٥ من وزن الكتلة المنزلقة، طبقًا لمكان المساحة بالنسبة لمختلف مناطق الزلزال.

حماية الميل: (Slope Protection)

ميل السد في اتجاه المنبع يجب أن تتم حمايته ضد الانجراف والتعرية (Erosion) بسبب تأثير الأمواج وكذلك التلف الذي تسببه الحفر والجحور بفعل الحيوانات. بالمثل الميل في اتجاه المصب يحتاج إلى الحماية ضد التعرية بفعل الرياح وتدفقات الأمطار. لذلك فإنه يلزم توفير غطاء حماية في أي من الحالات. الغطاء قد يتضمن دكه حجرية إما بالدكه العشوائية أو بالبناء الحجري، أو بطبقة من الخرسانة للميل في اتجاه المنبع.

حماية الميل في اتجاه المنبع (Upstream Slope Protection)

حماية الميل في اتجاه المنبع يجب أن يمتد من قمة السد إلى مسافة آمنة أسفل أدنى منسوب للمياه (حوالي ١,٥ متر) وتنتهي على مسطح ضيق حامل (Supporting Berm) الشكل (١٣/١٩) هذا يضمن حماية مؤثرة للطرف السفلي للدكة الحجرية عند اصطدامها بالموج. يتم توفير حماية الميل بطبقة من الخرسانة أو بالدكة الحجرية.

يتم وضع طبقة من مادة الرشح (Filter) المكونة من الزلط أو كسر الحجارة أسفل طبقة الدمك الحجرية لمنع الانجراف بفعل الموج وكسح المادة المدمجة. سمك مادة الرشح لا يقل عن ٢٥ سم ويفضل أن يكون في طبقتين.

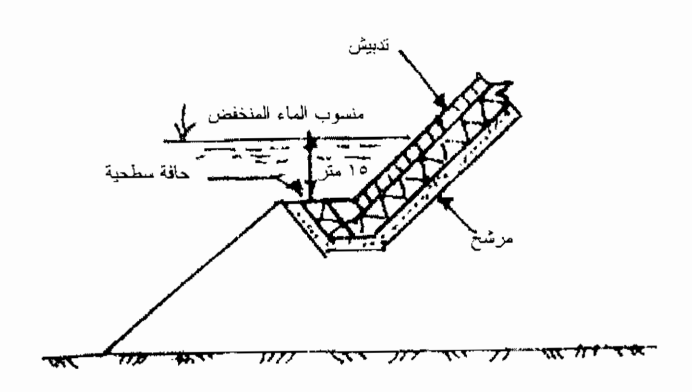
أدنى سمك لطبقة الدمك الحجري (Riprap) هو ٣٠سم. والمواصفات هي كما في الجدول.

أدنى سمك لطبقة الدمك الحجري بالبناء اليدوي

ارتفاع الموج (متر)	سمك الطبقة سم
أقل من ١	٣٠
١ – ٢	٤٥
أعلا من ٢	٤٠

أدنى سمك لطبقة الدمك بالردم

ارتفاع الموج (متر)	أدنى حجم للصخر (سم)	سمك الطبقة سم
حتى ١ متر	٣٠	٤٥
١-٢	٤٠	٦٠
أكثر من ٢	٧٠	١٠٠



شكل (١٣/١٩) تدبيش مع حافة سطحية أسفل منسوب الماء

الطبقة الخرسانية:

هي تتكون من طبقة خرسانية على الميل تحت السطح في اتجاه المنبع للسد. وتمتد الطبقة من قمة السد إلى ١,٥ متر أسفل أدنى منسوب للخزان. وتنتهي على مسار ضيق وحاجز خرساني يمتد إلى ما لا يقل عن ٤٥سم أسفل تحت السطح للطبقة. سمك طبقة الخرسانة هو حوالي ٢٠ سم للسد بارتفاع ١٥متر.

حماية الميل في اتجاه المصب: (Down stream slope protection)

لحماية الميل في اتجاه المصب فإنه سيتم عمل طبقة حماية أو الدكة الحجرية. طبقة الغطاء للحماية تكون عادة نوع من الحشائش على ميل السد، مع استخدام التسميد بانتظام لنمو الحشائش.

نظام الصرف في السد الترابي (Drainage system in Earth Dam)

السد الترابي لا يكون محكمًا ضد تسرب المياه على الإطلاق، حيث الماء يتسرب دائمًا خلال جسم السد وأسفل الأساس. لذلك، فإنه يكون من الضروري توفير الصرف الكفؤ خلال إجراءات صرف مقايسة ومحكمة للتعامل مع الصرف خلال جسم السد وأساس السد.

نظام الصرف للجسر: Drainage system for Embankment

الصرف الداخلي يمكن تقسيمه إلى الآتي:

١- طبقات الصرف الأفقية والمرشحات.

٢- الطرف الصخري للسد في اتجاه المصب (Rock Toe)

٣- مرشح الصرف المائل.

٤- صرف الصدع أو الفتحة (Chimney Dains)

الوظيفة الرئيسية لنظام الصرف هي لخفض ضغط ثقب الماء في كل من الأساس والجسر وبذا زيادة استقراره. وهو يمنع كذلك الانجراف والتعرية بفعل التسرب (Seepage Erosion)، المسارات الأنبوبية والاحتياج (Boiling).

نظام الصرف يتكون من عنصرين وهما:

١- مرشح الحماية الملتصق مع التربة، والذي يوفر الصرف الحر ويمنع الانجراف والتعرية، وهو يسمى المرشح المقلوب (Inverted Filter).

٢- مسار تجميع الصرف (Conduit) لتجميع وصرف كل مياه التسرب.

تصميم المرشح: (Filter Design Criteria)

طبقًا للتجارب التي أجراها (Terzaghi) وآخرين التي أظهرت أنه لكي يكون المرشح مؤثرًا فإنه ليس من الضروري فرز كل مواد التربة بالمنخل. إلا أن المرشح فقط يحتاج إلى وضع بعض الحبيبات الأكبر في الحجم والتي بالتالي يمكن أن تحافظ

على الحبيبات الصغيرة وتمنعها من الحركة شكل (١٣/١٩). لقد وجد أن القطر المؤثر (De) يجب أن يكون أقل من (D_{85}) للتربة الجاري ترشيحها.

$$De \leq D_{85}$$

كذلك

$$De = \frac{1}{4} D_{15} \text{ To } \frac{1}{5} D_{15}$$

هذا يعنى أن حبيبات المرشح الدقيقة (D_{15}) يجب أن لا تزيد عن ٤-٥ ضعف (D_{85}) للتربة.

$$D_{15} \text{ (Filter)} \leq D_{85} \text{ (Soil)}$$

$$\frac{D_{15} \text{ (Filter)}}{D_{85} \text{ (Soil)}} < 4 \text{ to } 5$$

لقد وجد أنه لتوفير الصرف الحر فإن المرشح يجب أن يكون أكثر مسامية عن التربة الجاري ترشيحها. نظرًا لأن نفاذية المرشح قد تصل إلى ١٠ -٢٠ ضعف تلك للتربة وأن معامل النفاذية للتربة المماثلة يتغير تقريبًا طبقًا لمربع الحجم المؤثر للحبيبة (Effective Grain Size)، فقد كان الاستنتاج أن ١٥% من حجم المرشح (D_{15}) يجب أن يكون ٤-٥ ضعف ١٥% من حجم التربة (D_{15}).

$$\frac{D_{15} \text{ (Filter)}}{D_{15} \text{ (Soil)}} > 4 \text{ or } 5$$

تلك المعادلات هي قواعد تدرج المرشح والتي تكون الأساس لتصميم المرشح.

إنشاء السد الترابي: Construction of Earth Dam:

إنشاء السد الترابي يتضمن عمومًا الخطوات الآتية:

أ- تحضير الموقع:

وهذا يشمل نظافة مواقع العمل وحفر الإمداد بتربة الردم (Borrow pits) لإمكان إنشاء السد. ويشمل العمليات الآتية:

أ- النظافة:

حيث تتم إزالة الأشجار، الصخور، المنشآت المؤقتة.. إلخ من المـساحة التـي تكون مناسبة للاستخدام كحفر لمواد الردم ولأساس السد. وكذلك إزالة جـذور النباتات والمواد العضوية لمكان حفر تربة الردم. هذا يكون غالبًا خلال منطقـة الجسر.

ب- التجريد:

وهو إزالة سطح التربة، المواد العضوية والتربة اللينة غير المناسـبة لتحمـل المنشأ خلال منطقة الجسر. سطح التربة الذي تم إزالته يتم تشوينه واسـتخدامه في الملء في الجانب المواجه للمنبع للسد المؤقت (Coffer Dam) أو على الميل المواجه للمصب لحمل نمو الحشائش.

٥- إزالة الصخور المفتتة والمواد الضعيفة الأخرى من الأكتاف. مادة الحفر يمكن استخدامها فيما بعد في إنشاء السد المؤقت.

التحويل والسد المؤقت: (Diversion and coffer Damming)

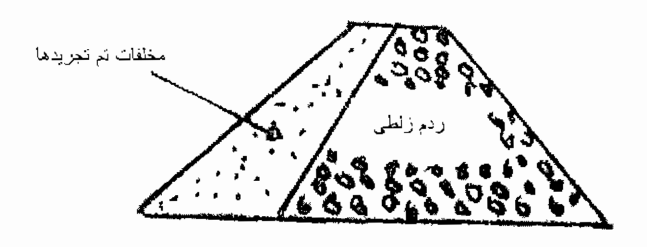
التحويل هو تغير اتجاه التدفق للنهر حول منطقة الإنشاء. يتم ذلـك بإنـشاء سـد مؤقت وقناة تحويل أو نفق يحمل المياه حول الموقع.

السد المؤقت(Coffer Dam) يجب أن يكون منخفض التكلفة ولكنـه محكـم لنفـاذ المياه. النوع البسيط للسد المؤقت هو الامتلاء بمخلفات الـصخور وردم التربـة فـي المكان لتكوين سد خام (Crude Dam) الشكل (١٣/١٧). القلب أو الجزء المركزي لـه هو كومة مثلثية الشكل (Triangular Mound) من المواد الضخمة مثل قطع الـصخور الضخمة.

يتم وضع هذه ابتداءًا من الأكتاف على الجانبين ثم العمل نحو مركز السد. عندما يكون الإنشاء في مجرى متدفق، فإن الصخور الثقيلة يجب أن يتم وضعها على القـاع حيث لا يتم حملها بقوة التيارات. عند الوصول إلى مركز المجـرى يمكـن اسـتخدام

الصخور الثقيلة جدًا أو الخرسانة سابقة التجهيز والتي تتحمل ضغط الماء. المواد الدقيقة يتم وضعها على الاتجاه المواجه للمنبع لتكوين اللب ومنع تسرب المياه.

قناة التحويل تستخدم مع السد المؤقت إما كقناة منفردة أو كنفق حيث تكون الظروف الطبوغرافية والجيولوجية مناسبة.



شكل (١٣/٢٠) السد المؤقت

تحضير الأساس (Foundation preparation)

قبل إنشاء السد الترابي، يكون من الضروري إنشاء الآتي:

- **خندق القطع: Cut off trench**
- **وخندق الربط: key Trench**

• <u>خندق القطع</u>: هو حفر في شكل الحفر المكشوف الذي يحمل حتى مستوى الصخر المصمت أو أي طبقة من التربة غير المسامية. وهو خندق مائل جانبي يتم حفره وردمه بمادة غير مسامية، ثم دكه بنفس الطريقة كما في حالة المنطقة غير المسامية للسد. خندق القطع يوضع في اتجاه المنبع من خط المركز للسد ولكن موازيًا له وإلى نقطة حيث السد غير المسامى فوق الخندق يمكنه توفير مقاومة مساوية وتسرب مثل الخندق نفسه.

الالتصاق بين خندق القطع والأساس غير المسامى هو مستوى ضعيف، حيث خلاله يمكن تكوين قوى التسرب. كل الحفر والفراغات التي يتم ملاحظتها هناك تلزم نظافتها جيدًا وعزلها بخلطة مناسبة من الرمل والأسمنت.

- <u>خندق الربط:</u> الشكل (٣٠)، يتم تجهيزه في كل الأساسات حيث لا يتم استخدام خندق القطع. الخندق يربط المنطقة غير المسامية للسد مع أساسها ولهذا السبب فإنه يجب أن يخترق عدة أمتار من التربة الضعيفة بسبب التدفق السطحي .. إلخ.. عمومًا يكون بعمق ١٠ متر واتساع ١٠ متر عند القاع مع ميول جانبية ١ : ١.

الحقن بالأسمنت (Grouting)

الحقن بالأسمنت يتم من خلال حقن خليط من الأسمنت، الماء والمواد المضافة الأخرى مثل الرمل، الطفل وبودرة الصخر في التكوينات اسفل التربة (Subsoil Formation). والحقن الأسمنتي يقوم بوظيفتين وهما توفير عدم النفاذية للتربة وتحسين قوتها. الحقن الأسمنتي يتم بملء التشققات والتصدعات، الفراغات وحتى الفواصل البينية بين جبليات التربة بالمادة الأسمنتية. هذه المادة يجب أن تكون في حالة سيولة كافية لاختراق أصغر الفتحات التي تتطلب الملء. وهذا يتطلب أن اللزوجة يجب أن تكون منخفضة وأن كل الحبيبات يجب أن تكون أصغر من الفتحات. ولكن الحقن الأسمنتي يجب أن يكون قويًا وصلبًا مثل التكوينات المحيطة. معظم الحقن الأسمنتي يستخدم الأسمنت البورتلاندي والماء مع خليط متوسط من الرمل الخشن وكسر الصخر بنسبة ١ : ١ الحقن الأسمنتي يتم عادة بطريقتين وهما الحقن الأسمنتي المدمج (Consolidated) وحقن الستارة (Curtain).

السدود الصخرية (Rock-Fill Dams)

السدود الصخرية تتصف بأن القطع الصخرية تعمل كعنصر إنشاء رئيسي للسد. الامتلاء بالصخر يمكن أن يتم بالردم المفكك أو بالرص اليدوي للريش من الدمج المناسب. السدود الصخرية تكون من نوعين:

نوع الغشاء غير المسامى (Impervious Membrane)

نوع تربة اللب غير المسامية (Impervious Earth Core)

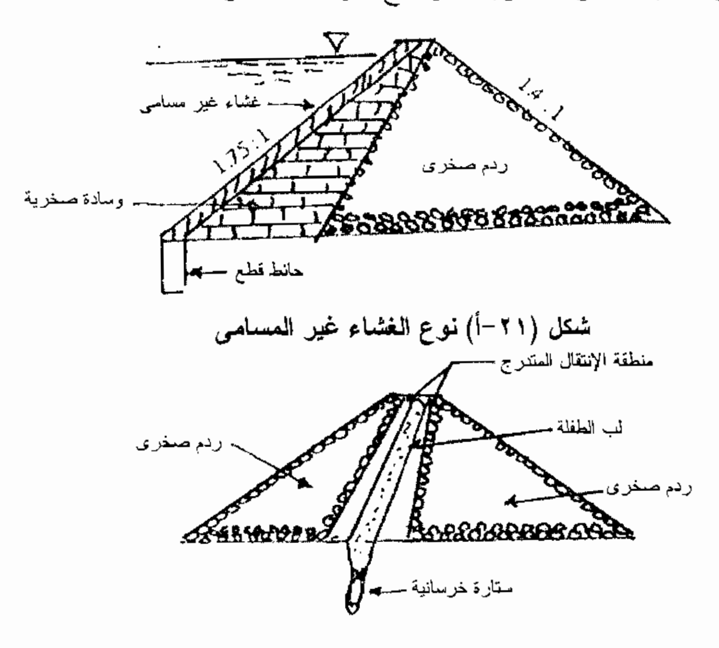
سد التل الصخري ذو الغشاء الغير مسامي :

Impervious Membrane Rockhill Dam:

توجد طبقة غير مسامية من الخرسانة، الصلب، أو الأسفلت أو الخرسانة المسلحة على ميل السد المواجه للمنبع والشكل (٢١ – أ/١٣) الغشاء يكون محمولاً على وسادة من الصخر المرصوص يدويًا أو بالبناء الصخري والذي يوفر تأسيس ناعم ومدمج للغشاء.

الوسادة الصخرية بالتالي تكون محملة على ردم صخري. الردم الصخري على السطح المواجه للمصب يكون له ميل ١,٤ أفقي إلى ١ رأسي (١,٤ : ١) الميل في اتجاه المنبع يكون إما متساوى أو أكثر استواء (١,٧٥ – ١) لتسهيل الإنشاء للطبقة غير المسامية.

يتم توفير خندق القطع عند طرف السد في اتجاه المنبع لمنع التسرب أسفل السد وكذلك لتوفير مقاومة الدفع للغشاء غير المسامي. هذا النوع من الردم الصخري (Rock fill) يكون أسهل في الإنشاء، حيث يكون الصخر الصلب متاحًا. ولكن يكون معرضًا للهبوط الشديد والذي يمكن أن ينتج عند تشقق للغشاء. وهذا لا يتم إنشاؤه في ارتفاعات كبيرة، حيث نادرا ما يزيد الارتفاع عن ١٠٠ متر.



شكل (٢١-أ) نوع الغشاء غير المسامى

شكل (٢١-ب) نوع اللب الترابى غير المسامى

شكل (١٣/٢١) أنواع الردم الصخرى للسد

سد تربة اللب الصخرية (Earth – Core Rock Fill Dam)

هذا السد يسمى كذلك سد التربة الصخرية (Earth Rock Dam) وله لب من الطفل غير المسامى الموضوع قريبًا من مركز السد. اللب يكون معزولاً عن الردم الصخري بمنطقة انتقالية على جانبي السد في اتجاه المنبع وفي اتجاه المصب وتحتوي على مادة دقيقة مدرجة إلى الحبيبات الأكبر بالتدريج. المنطقة الانتقالية لا توفر فقط دعامة ثابتة للب السد ولكن تحافظ عليه من دفعه بالماء. توفير ستارة من الخلطة الأسمنتية تعمل على عزل اللب والعمل كحاجز غير مسامي نحو دخول التسرب أسفل السد.

سد التربة الصخرية أقل في التكلفة مقارنة بنوع السد الغشائي وهو مناسب للسدود الحديثة العالية بالملئ الصخري. مقارنة بالأنواع الأخرى (الخرسانية، السدود الترابية) فإن سد الملء الصخري يوفر ميزة المقاومة العالية للزلزال بسبب مرونته، قلة مواد الإنشاء نسبيًا بسبب زيادة حدة الميول وقلة التكلفة والسرعة فى الإنشاء فى حالة توفر المواد المناسبة.

الملاحق

- ملحق (أ)
- ملحق (ب)

الملحق (أ)

الصرف وإصلاح الأراضى المثقلة بالمياه

Drainage and Reclamation of Water Logged Lands

١- تعريف الملوحة والغمر بالمياه:

يقال أن الأرض الزراعية مثقلة بالمياه، عندما تتأثر إنتاجيتها بارتفاع خط المياه الجوفية (High Water Table). فى الحقيقة فإن انتاجية الأرض الزراعية تتأثر عند غمر منطقة الجذور للنباتات بالماء، وبذا تصبح عديمة التهوية. عدم التهوية يقلل من إنتاجية المحصول، كما سيتم شرحه.

فى الواقع عمر النبات يتوقف على مواد الغذاء (Nutrients) مثل النترات، والشكل الذى يتم به إستهلاك النترات بواسطة النباتات يتم الحصول عليه بواسطة البكتريا، فى عملية تسمى عملية النترجة (Nitrification). تلك البكتريا تحتاج إلى الاكسجين لتعيش. الإمداد بالاكسجين ينقطع عندما تصبح الأرض عديمة التهوية، بما ينتج عنه موت تلك البكتريا وضعف إنتاج الغذاء للنبات (مثل النترات) وبالتالى ضعف نمو النبات والذى يقلل من إنتاجية الحاصلات. بالإضافة إلى ضعف التهوية للنباتات، فإنه تنتج مشاكل كثيرة أخرى فى حالة غمر المياه كما سيتم شرحه:

أ- عمليات الزراعة الطبيعية مثل ضبط الميول (Tilling) والحرث ...الخ. لا يمكن عملها بسهولة فى التربة الرطبة. فى الحالات الحادة قد ترتفع المياه فوق سطح الأرض، بما يجعل من المستحيل القيام بعمليات الزراعة. فى اللغة العادية مثل هذه الأرض تسمى أرض المستنقع (Swampy).

ب- بعض النباتات المحبة للماء مثل الحشائش، الأعشاب...الخ. تنمو في الأرض المغمورة بالمياه، بما يؤثر ويتداخل مع نمو الحاصلات الزراعية.

ج- كذلك غمر المياه يؤدى إلى الملوحة. حيث في حال إرتفاع خط المياه الجوفية، لو حدث أن أصبحت جذور النبات خلال تخوم الخاصية الشعرية (Capillary Fringe)، فإن المياه تظل تتبخر باستمرار بالخاصية الشعرية. بذا إستمرار التدفق العلوى للمياه من خط المياه الجوفية (Water Table) إلى سطح الأرض. مع هذا التدفق العلوى، فإن الأملاح المذابة في المياه ترتفع كذلك نحو السطح، بما ينتج عنه ترسيب الأملاح في منطقة الجذور للحاصلات الزراعية (Crops). تركيز تلك الأملاح القلوية الموجودة في منطقة الجذور للنبات تحدث تأثير التآكل والتلف على الجذور، والذى يقلل من النشاط الأوسموزى للنبات ويعيق نمو النبات، وأخيراً ذبول النبات وموته. مثل هذه التربة تسمى التربة المالحة (Salinesoil). لذلك فإن غمر المياه يؤدى إلى الملوحة والذى ينتج عنه خفض إنتاجية الحاصلات الزراعية. لهذا السبب فإن الملوحة وغمر المياه يتم التعامل معهم كمشكلة مزدوجة، تحت عنوان الملوحة وغمر المياه. حيثما يوجد غمر للمياه فإنه لابد من وجود الملوحة.

٢- أسباب غمر المياه (Causes of Water Logging)

غمر المياه هو إرتفاع خط المياه الجوفية، والذى يمكن أن يحدث بسبب العوامل الآتية:

أ- الرى الكثيف المفرط:

عند تبنى سياسة الرى الكثيف والمفرط، فإن هذا يؤدى إلى الإسراف في الرى والذى بالتالى يؤدى إلى زيادة تسرب مياه الرى نحو الخزان الجوفي (Percolation) والذى يترتب عليه إرتفاع خط المياه الجوفية. لهذا السبب، ولتجنب غمر المياه فإن سياسة الرى الفسيح أى المنتشر على مناطق متسعة يجب أن تكون البديل لسياسة الرى الكثيف.

ب- تسرب المياه خلال القنوات:

المياه يمكن أن تتسرب خلال قاع وأجناب القنوات المجاورة، والخزانات ...الخ، الموجودة عند مستوى أعلا من الأرض التى تتأثر، بما ينتج عنه إرتفاع خط المياه. هذا التسرب يكون زائدا، عندما تكون التربة عند أجناب القنوات والخزانات ...الخ. شديدة المسامية.

ج- العائق غير المسامى (Impervious Obstruction):

تسرب وإرتشاح (Scepage) المياه أسفل التربة يتحرك أفقياً (أى عرضيا) ولكن قد يجد عائق غير مسامى، والذى يسبب إرتفاع خط المياه على الجانب فوق التيار للعائق. بالمثل، الطبقة الصماء غير المسامية قد تكون أسفل الطبقات العليا للتربة المسامية. فى هذه الحالات، فإن إرتشاح المياه خلال التربة المسامية لايكون قادراً على الذهاب إلى الأعماق السفلى، وبالتالى، ينتج عن ذلك الإرتفاع السريع لخط المياه.

د- إرتشاح وتسرب المياه من الأراضى العالية القريبة:

المياه من الأراضى القريبة العالية قد تتسرب نحو أسفل التربة للأرض والذى يعمل على إرتفاع خط المياه الجوفية.

ه- الصرف الطبيعى غير المناسب:

التربة ذات الطبقة التحتية ذات المسامية والنفاذية القليلة (مثل الطفلة) أسفل الطبقات العليا من التربة المسامية، لاتكون قادرة على صرف المياه إلى مسافات عميقة فى التربة، وبالتالى، ينتج عن ذلك إرتفاع منسوب المياه فى التربة.

و- الصرف السطحى غير المناسب:

مياه الأمطار الساقطة فوق الأرض ومياه الرى الزائدة يتم إزالتها ولايسمح لها بالتسرب إلى أسفل فى حالة عدم توفير الصرف المناسب فإن المياه سوف تستمر فى الترشح والتسرب بإستمرار وسوف يرتفع منسوب خزان المياه الجوفية.

ز- المطر الزائد:

المطر الزائد يؤدى إلى الغمر المؤقت بالمياه، وعدم الصرف الجيد قد يؤدى إلى الغمر المستمر للمياه.

ح- الغمر بسبب فيضان المياه:

إذا حدث أن استمر غمر الأرض بالمياه، فإن النباتات المحبة للماء مثل الحشائش، الأعشاب، الخ يمكن أن تنمو والذى يعيق الصرف السطحى الطبيعى للتربة وبذا زيادة فرص غمر المياه.

ط- طبوغرافية الأرض غير المنتظمة أو المستوية:

فى حالة الأرض ذات الميول فإن المياه يتم صرفها سريعاً. فى حالة الأرض المستوية أو غير المنتظمة ذات الانخفاضات..الخ فإن الصرف يكون ضعيفاً جداً. كل تلك العوامل تؤدى إلى زيادة مكوث المياه على الأرض، بما يسبب زيادة الرشح وإرتفاع خط المياه.

٣- التحكم فى غمر المياه: (Water – Logging Control)

من الواضح أن غمر المياه يمكن التحكم فيه فقط إذا كانت كمية المياه فى التربة السفلية يمكن خفضها وعدم وصولها. للحصول على هذا، فإن المياه المتدفقة فى الخزان الأرضى يجب خفضها والتدفق الخارج من الخزان الأرضى يجب زيادته. الإجراءات المختلفة المستخدمة فى التحكم فى غمر المياه كالآتى:

أ- تبطين القنوات والمجارى المائية: يتم محاولة خفض رشح وتسرب المياه من القنوات والمجارى المائية وذلك بتبطينها حيث التبطين طريقة مؤثرة للتحكم فى غمر المياه.

ب- خفض شدة وحدة الرى: فى المساحات حيث احتمال غمر المياه، فإنه يتم خفض شدة الرى بدرجة كبيرة. جزء صغير فقط من الأرض التى يتم ريها يجب أن

يستقبل مياه المجرى المائى فى موسم معين. المساحات الباقية يمكن أن تستقبل المياه فى الموسم التالى، بالتعاقب.

ج- استخدام تعاقب المحصول Introducing Crop – Rotation: محاصيل معينة تحتاج إلى الماء الزائد ومحاصيل أخرى تحتاج إلى مياه أقل. إذا استمرت زراعة المحاصيل التى تحتاج إلى مياه زائدة فى الحقل، فإن فرص غمر المياه تكون كبيرة. ولتجنب ذلك، فإن المحصول الذى يحتاج مياه كثيرة يجب أن يليه محصول يحتاج إلى مياه أقل ثم محصول لا يحتاج إلى المياه. الأرز يمكن أن يعقبه القمح والقمح يليه محصول جاف مثل القطن.

د- أفضل استخدام للمياه (Optimum Use of Water): من المعروف أن كمية معينة ثابتة من مياه الرى تعطى أفضل نتائج. أقل من هذه أو أكثر من هذه يعمل على خفض المحصول. ولكن معظم الزراع غير مدركين لتلك التقنية حيث الشعور باستخدام الزائد من مياه الرى يزيد من المحصول وهذا وهم خاطئ. يمكن مراجعة هذا الخطأ بترشيد المزارعين. كذلك، فإن الإيراد أو الريع يجب أن لا يقدر على أساس المساحة المروية وليس على أساس كمية المياه المستخدمة. يجب الملاحظة الحاسمة عند مخرج المياه لايقاف تدفق المياه الزائدة.

هـ- توفير الصرف المعترض (Providing Intercepting Drains): يجب توفير نظام صرف كفء لصرف مياه الأمطار ومياه الرى الزائدة. نظام الصرف الجيد يتكون من المصارف السطحية والمصارف تحت السطح.

و- تحسين الصرف الطبيعى للمساحة: لخفض الرشح والتسرب فإن المياه يجب عدم مكوثها فترة طويلة. يمكن المساعدة فى هذا الإتجاه بإزالة العوائق من مسار التدفق الطبيعى. حيث تتم إزالة الاشجار والاحراش...الخ مع تحسين ميول خطوط الصرف الطبيعى.

ز- استخدام الرى بالرفع (Introduction of Lift Irrigation) الرى بالرفع يستخدم المياه الجوفية للرى. وهذا يساعد على خفض خط المياه خلال آبار الأنابيب..الخ.

لذلك فإنه يمكن إستبدال الرى بالقنوات بالرى بالرفع، فى المساحات المحتمل غمرها بالمياه.

٤- إستصلاح الأراضى المالحة والقلوية:

Reclamation of Saline and Alkaline Lands

استصلاح الأراضى هو العملية التى بها تحول الأرض غير القابلة للزراعة لتكون مناسبة للزراعة. الأراضى المالحة والمغمورة بالمياه تعطى حاصلات قليلة جداً، ولذلك، تكون غير مناسبة للزراعة، إلا فى حالة إستصلاحها. وقبل تلخيص العلاجات لإستصلاح مثل هذه الأراضى، فإنه سوف يتم أولا مراجعة العملية التى تصبح بها الرطوبة مالحة أو فى الحالات المتقدمة تكون قلوية.

كل تربة زراعية تحتوى على أملاح معدنية معينة – بعض من هذه الأملاح يكون مفيدا للنباتات حيث توفر الغذاء للنبات، بينما البعض الآخر يشكل خطورة على النبات. الأملاح الخطرة هذه تسمى الأملاح القلوية (Alkaline Salts) ومن أمثلتها العادية كربونات الصوديوم (Na_2 Co_3)، كبريتات الصوديوم (Na_2 So_4)، وكلوريد الصوديوم (Nacl) كربونات الصوديوم (Na_2 Co_3) أو القلوى الأسود* هو الأكثر ضرراً، أما كلوريد الصوديوم هو الأقل أذى. تلك الآملاح قابلة للذوبان فى الماء. فى حالة إرتفاع خط المياه، أو لو حدث أن جذور النبات أصبحت خلال تخوم الخاصية الشعرية، فإن المياه من خط المياه تبدأ فى التدفق إلى أعلى. كذلك الأملاح القلوية المذابة تتحرك إلى أعلى مع الماء حيث ترسب فى التربة خلال جذور النبات وكذلك على سطح الأرض. هذه الظاهرة لتحرك الاملاح إلى أعلى فى المحلول وتكون قشرة رقيقة على السطح (٥ إلى ٧,٥سم)، بعد تبخير المياه تسمى التزهر أو فقدان ماء التبلر (Efforescence). الأرض التى تأثرت بهذا التزهر تسمى التربة المالحة. المياه المالحة التى تحيط بجذور النباتات تقلل من النشاط الأسموزى للنبات، كما سيتم شرحه.

---

* يعرف بالقلوى الأسود (Black alkali) لأنه يذيب بعض المكونات العضوية للتربة، التى عندما تكون فى المحلول معها تبدو سوداء. لذلك، الأرض، تكون ملطعة بلطع سوداء.

حيث نظر جـذور النبـات تعمـل كأغـشية شـبه نفـاذه (Semi – Permeable membranes)، لذلك فإنه توجد مياه نقية على أحد أجناب الغشاء (أى الماء الذى سـبق استخلاصه بواسطة الجذور) والمحلول الملحى عالى التركيز على الجانـب الآخـر. الآن، من المعلومات عن الكيمياء الطبيعية، يمكن إستنتاج أن الماء سـوف يبـدأ فـى التدفق خارج الجذور بالاسموزى (Osmosis) وأن النبات سوف يموت بـسبب نقـص المياه.

مثل هذه التربة التى تأثرت بالاملاح تكون غير منتجه وتعرف بالتربـة المالحـة (Saline Soil). فى حالة استمرار التزهر وفقدان الماء لفترة أطول فإنه يحدث تفاعـل التبادل القاعدى، خاصة إذا كانت التربة طفلية، وبذا تتحول الطفلة إلـى الـصوديوميه (Sodiumising the Clay)، بما يجعلها غير نفاذه وبالتالى عديمة التهوية وعالية عـدم الإنتاجية. مثل هذه التربة تسمى التربة القلوية (Alkaline Soils). استـصلاح التربـة القلوية شديد الصعوبة.

استصلاح الأرض التى تأثرت بالملح:

من الواضح من المناقشة السابقة أنه يمكن تجنب التزهر فى حالة إستمرار خـط المياه أسفل الجذور بمسافة كافية، بما لايمكن مياه الخاصية الشعرية من الوصول إلـى جذور النبات. لذلك، فإن كل تلك الإجراءات التى تم إقتراحها لمنع غمر المياه تنطبـق كذلك على منع الملوحة للأراضى. نظام الصرف الكفء المكون من الصرف السطحى والصرف تحت السطحى يجب أن يتم توفيره لخط المياه فى الأرض المالحة. بعـض خفض خط المياه المرتفع بالصرف المناسب، فإن التربة يتم تحريرهـا مـن الأمـلاح الموجودة بواسطة عملية تسمى (Laching) أى نزع الأمـلاح المعدنيـة مـن التربـة بغسيلها.

نزع الأملاح المعدنية من التربة (غسيل التربة) (Leaching)

فى هذه العملية، يتم غمر الأرض بالقدر المناسب من الميـاه. الأمـلاح القلويـة الموجودة فى التربة، يتم إذابتها فى هذه المياه، والتى ترتشح إلى أسفل للوصول إلـى

خط المياه أو الصرف بواسطة الصرف تحت السطحى. العملية يـتم تكرارهـا حتـى إنخفاض الأملاح فى الطبقة العليا للأرض حتى إمكان نمو بعض الحاصـلات التـى تقاوم الملح. هذه العملية تعرف بإذابـة الأمـلاح المعدنيـة وإزالتهـا مـن التربـة (Leaching). الحاصلات ذات المقاومة العالية للملح مثل البرسـيم، علـف الماشـية. ...الخ. تنمو حاليا فى تلك الأرض التى تم غسيل الأملاح منها لموسمين أو ثلاثة حتى خفض الملوحة إلى الحد الذى يمكن من نمو الحاصلات العادية مثل الحنطة والقطـن. الأرض يقال أنه تم استصلاحها (Reclaimed). عند وجود كربونات الـصوديوم فـى التربة المالحة، يتم إضافة الجبس ($Ca\ So_4$) إلى التربة قبل الغـسيل لإزالـة الامـلاح المعدنية مع الخلط الجيد بالماء. تتفاعل كربونات الصوديوم ($Na_2\ Co_3$) مع الجبس ($Ca\ So_4$) مكونة ($Na_2\ So_4$) التى يمكن غسيلها وإزالتها من التربة كما سبق شرحه.

متطلبات غسيل التربة لإزالة الأملاح المعدنية

Leaching Requirement of the Soil (LR)

بهدف المحافظة على استمرار الوضع المناسب لملوحة التربة ولتجنب أى زيـادة إضافية فى ملوحتها، فإنه يكون من الضرورى استخدام ماء للتربة يزيد عن الاستخدام الاستهلاكى (أى المتطلبات التى تحقق حاجة البخر والنتح). هذا الماء الزائـد سـوف يتدفق إلى أسفل مابعد جذور النبات إلى نظام الصرف تحت الأرض أو إلـى الخـزان الجوفى، مع غسيل وإزالة الأملاح الزائدة، والتى كان يمكن أن ترسب فى التربة بمـا يزيد من ملوحتها. هذا الماء الزائد، الذى يكون مطلوبا لتحقيق متطلبات الغسيل وإزالة الأملاح، يقدر عموما كنسبة مئوية لكل مياه الرى للإستخدام الحقلى لتـوفير اسـتخدام الاستهلاك وكذلك متطلبات غسيل الأملاح. هذه الكمية النسبية للمياه اللازمة لاستمرار الإتزان فى محتوى الأملاح للتربة، ثم حسابها حيث تقدر طبقاً للمعادلة الآتية:

متطلبات الغسيل (Leaching Requirement) (LR)

$$LR = \frac{Dd}{Di}$$

$$= \frac{\text{عمق الماء الذى تم صرفه لوحدة المساحة}}{\text{عمق مياه الرى المستخدمة لوحدة المساحة}} \qquad (1)$$

حيث:

Di = العمق الكلى لمياه الرى المستخدمة

= Cu (استخدام الاستهلاك) + Dd (الصرف خارج عمق المياه)

$$(2)\ LR = \frac{Dd}{Di} = \frac{Di - Du}{Di}$$

للإتزان الملحى، فإن النسبة $\frac{Dd}{Di}$ وجد أنها تساوى $\frac{Ci}{Cd}$ حيث Ci هو محتوى مياه الرى من الأملاح، Cd هو محتوى مياه الصرف أو مياه الغسيل من الأملاح.

حيث أن المحتوى من الأملاح يتناسب مع التوصيل الكهربى (EC)، فإن $\frac{Ci}{Cd}$ سوف تساوى =

$$= \frac{EC\ (i)}{EC\ (d)}$$

حيث:

EC (i) هو التوصيل الكهربى لمياه الرى

EC (d) هو التوصيل الكهربى لمياه الصرف (مياه الغسيل)

لذلك: فإن المعادلة رقم (1) يمكن كتابتها كالآتى:

$$(3) \qquad LR = \frac{Dd}{Di} = \frac{EC\,(i)}{EC\,(d)}$$

التوصيل الكهربى (EC) لمياه الصرف، أو مياه غسيل الأملاح أى EC (d) يمكن إفتراضها على أساس الحد المقبول للملح المسموح به للمحصول الذى ينمو، ولكن يفترض عموما أن يكون ضعف مقدار EC لمستخرج تشبع التربة (Saturation Soil Extract). أى EC (e). عندئذ المعادلة (3) يمكن كتابتها كالآتى:

$$LR = \frac{Dd}{Di} = \frac{EC\,(i)}{EC\,(d)} = \frac{EC\,(i)}{2\,EC\,(e)}$$

مثال:

يتم تقدير متطلبات الغسيل لإزالة الأملاح من التربة عندما تكون قيمة التوصـيل الكهربى (EC) لمستخرج التربة المشبع ١٠ مللى مهو/سم (10 mm ho/cm) عند خفض ٢٥% من إنتاجية المحصول. ما هو العمق المطلوب للماء لاستخدامه فـى الحقـل إذا كان إستخدام الاستهلاك المطلوب للمحصول هو ٨٠ ملليمتر؟ قيمة EC لمياه الغـسيل يمكن إفتراضها بشكل مناسب.

الحل:

القيم المعطاه هى:

EC (e) = قيمة التوصيل الكهربى (EC) لمستخرج التربة المشبعة

EC (i) = قيمة التوصيل الكهربى (EC) لمياه الرى

= ١,٢ مللى هو/ سم (1.2 millim ho/Cm)

Cu = الاستخدام الاستهلاكى

= ٨٠ مليمتر

متطلبات مياه غسيل الأملاح طبقا للمعادلة رقم (3) هو:

$$LR = \frac{Dd}{Di} = \frac{EC\,(i)}{EC\,(d)}$$

حيث:

$EC_{(d)}$ هى قيمة EC لمياه الغسيل، التى يمكن إفتراضها أن تكون مساوية لـضعف $EC_{(e)}$.

$$\therefore\ 2\ EC_{(e)} = 2 \times 10 \text{ mm ho/cm}$$

إستبدال القيمة السابقة، نحصل على:

$$LR = \frac{EC_{(i)}}{EC_{(d)}} = \frac{1.2 \text{ milli mho/cm}}{20 \text{ milli mho/cm}}$$

$$= \frac{1.2}{20} \times 100\%$$

$$= 6\%$$

لذلك، فإن متطلبات مياه الغسيل للأملاح هى ٦% (1) والأن باســتخدام المعادلــة رقم (2)، عندئذ

$$LR = \frac{Dd}{Di} = \frac{Di - Cu}{Di}$$

$$= \frac{Di - 80\ mm}{Di} \times 100\% \qquad (2)$$

وبمساواة المعادلة رقم (1) ورقم (2) عندئذ

$$6 = \left(\frac{Di - 80mm}{Di} \right) \times 100$$

أو

$$6\ Di = 100\ Di - 8000\ mm$$

أو

$$94\ Di = 8000\ mm$$

أو

$$Di = \frac{8000}{94}\ mm$$

$$= 85.1\ mm$$

لذلك، يكون عمق المياه المطلوب للرى هو = ٨٥,١ مليمتر

الصرف الأرضى: (Land Drainage)

الرى السطحى يكون نعمة فقط إذا تم تنفيذه بحرص شديد. كمية المياه التـــى يــتم استخدامها تكون هى المطلوبة فقط للنبات، طبقاً لحاجة ذلك النبات، وكــذلك خــواص التربة التى يجب أن يعطى لها كل الاعتبار. الماء الزائد الذى لا يتم امتــصاصه فـــى

منطقة الجذور للتربة، قد يتسرب ويساعد فى ارتفاع خط المياه. أحيانا، هذا الماء الذى يتسرب بالجاذبية قد تقابله طبقة صماء ولا يتم صرفه إلى خط المياه. كما تم شـرحه، هذا الماء الزائد ليس فقط فاقد ولكن يمكن أن يكون ضاراً لإنتاجية المحـصول. فـى حالة إحتمال حدوث مثل هذه الحالات، فإنه يكون من الضرورى، إزالـة هـذا المـاء الزائد وصرفه من أسفل التربة ثم عودته ثانياً إلى النهر، أو الترعة ..الخ أو لأى مكان آخر. لذلك، فإنه عند تصميم شبكة الرى يكون أحياناً توفير نظـام صـرف مناسـب، لإزالة مياه الرى الزائد. هذا قد يكون ضرورياً فى المناطق حيث خط المياه الجوفيـة العالى وفى دلتا الأنهار، عند امتداد نظم الرى لمثل هذه المساحات. كذلك يكون نظـام الصرف مطلوباً لصرف مياه الأمطار، وذلك لمنع تسربها وضمان التخلص منها.

يمكن توفير نوعين من الصرف وهما:

(١) الصرف السطحى

(٢) الصرف تحت السطحى أو الصرف تحت الأرض.

١ – الصرف السطحى: Surface Drainage or Open Drainage

الصرف السطحى هو إزالة الماء الزائد باستخدام وإنشاء الحفر المفتوحة (Open Ditches)، الصرف الحقلـى (Field Drains)، والتـدرج الأرضـى (Land Grading) والمنشآت ذات العلاقة. عند إمتداد الـرى إلـى المنـاطق الجافـة والقاحلـة (Arid Regions)، فإن حفر الصرف تكون ضرورية لإزالة المياه اللازمة لإذابـة وغـسيل الاملاح غير المرغوبة من التربة وللتخلص من المطر الزائد. الحفر المفتوحة التى يتم إنشائها بهدف إزالة الزائد من مياه الرى المستخدم فى الحقـل وكـذلك إزالـة ميـاه الأمطار، هذه الحفر تكون عريضة وضحلة وهى تسمى حفـر الـصرف الـسطحى الضحلة. حفر الصرف هذه تحمل مياه الأمطار إلى الصرف الخارجى والـذى يكـون قادراً على حمل فيض المياه ويكون بالعمق الكافى لتوفير المخـارج للـصرف تحـت الأرض. مصارف المخرج هذه تسمى المصارف السطحية العميقـة (Deep Surface Drains).

المصارف السطحية المنشأة لإزالة مياه الرى الزائدة المستخدمة فى المزارع ولمياه الأمطار، يجب أن لاتكون عميقة، لتتداخل مع عمليات الرى. ولذلك يتم تصميمها كمصارف سطح ضحلة.

التدرج الأرضى الذى ينتج عن ميل مستمر للأرض نحو الصرف الحقلى، وهو جزء هام من نظام الصرف السطحى. التدرج الأرضى أو التسوية الأرضية يكون ضروريا كذلك للرى السطحى.

المصارف السطحية الضحلة: (The Shallow Surface Drains)

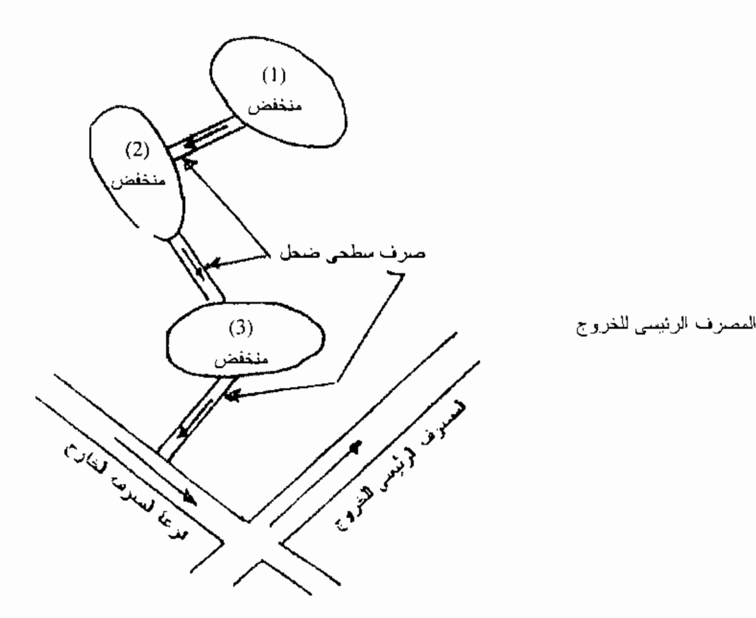
المصارف السطحية الضحلة تكون ذات مقطع القطع المكافئ. تحديدا يتم تصميمها لحمل مياه الأمطار العادية، زائد، مياه الرى الزائدة. فى كثير من الحالات يتم إهمال مياه الرى الزائدة حيث تصمم تلك المصارف فقط لتدفقات المياه السطحية الناتجة عن هطول المطر المتوسط. إنه ليس من المرغوب فيه إقتصادياً تصميم تلك المصارف لحالات العواصف المطيرة الاستثنائية. يمكن استخدام معادلات (Kutter's or Manning) لتصميم تلك المصارف، مع المحافظة على السرعة خلال حدود السرعة الحرجة، وبذا، تجنب ترسيب الغرين (Silling) أو التعرية وتآكل السطح (Scouring). وعموما فإن معادلة ماننج (Manning) تستخدم لتصميم المصارف السطحية الضحلة وكذلك العميقة.

المصارف السطحية العميقة: (Deep Surface Drains)

المصارف السطحية العميقة أو مصارف المخرج (Outlet Drains) تحمل تصرف مياه الأمطار من المصارف السطحية الضحلة، وكذلك مياه الشرب القادمة من المصارف المغطاة بالقرميد أو البلاطات ...الخ. (Tile Drains). لذلك فإنها تصمم لصرف كل من المصارف السطحية الضحلة وكذلك المصارف المغطاه. عموما يتم توفير مخرج فى وسط طبقة الصرف لحمل مياه التسرب، حيث يكون هذا المخرج بميل حاد ويكون مبطنا لتحمل سرعات التدفق العالية وبذا إعاقة نمو الحشائش. المقطع الممتلئ يكون مناسباً فقط للإستخدام أثناء حدوث العاصفة الممطرة.

المدخل السطحى: (Surface In Let)

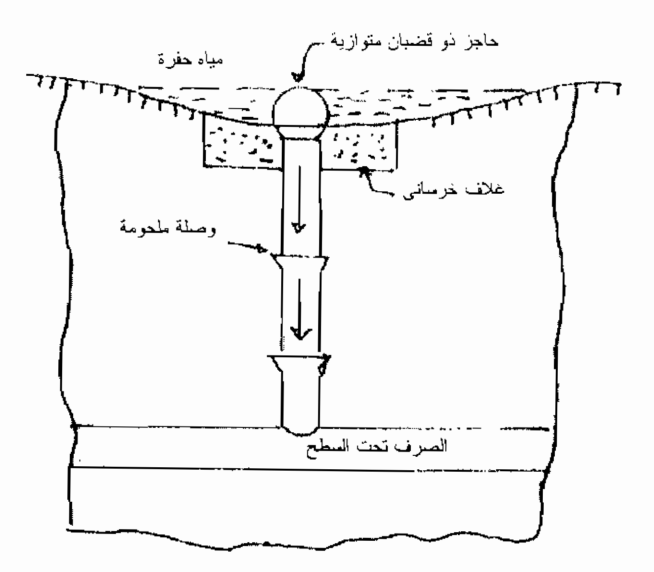
المياه السطحية من المنخفضات، حفر الطريق، والمزارع وما يتبعها من مبانى (Farm Steads) يمكن إزالته إما بتوصيلهم مع الصرف السطحى الضحل، والذى يسمى الصرف الحقلى العشوائى شكل (١).



شكل (١) نظام الصرف الحقلى العشوائى للصرف السطحى

أو بإنشاء مدخل مآخذ الذى يسمى المدخل المفتوح أو المدخل السطحى شكل (٢). المدخل السطحى عبارة عن منشأ يقام لحمل مياه الحفر إلى تحت السطح أو مجرى الصرف من أنبوبة الفخار. يمكن استخدام أنبوبة حديد مجلفن. أحياناً يستخدم فتحة دخول مع أحواض الترسيب كمآخذ سطحية.

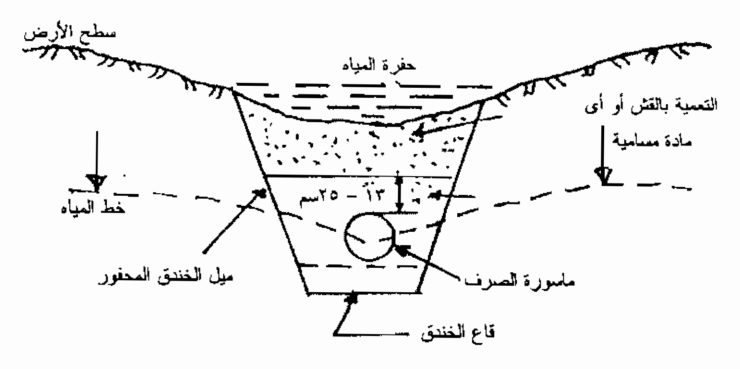
عند سطح الأرض يتم إنشاء حلقة خرسانية ممتدة حول المآخذ على الأنبوبة الصاعدة (Riser) لمنع نمو النباتات ولتثبيته فى مكانه. على أعلا الأنبوبة الصاعدة يتم أحيانا توفير شبكة حديدية مناسبة (Grate) لمنع دخول الأعشاب الطافية إلى الأنبوبة. عند إنشاء المدخل فى أرض بها زراعات فإن المحيطة بالمدخل مباشرة يجب أن تكون محاطة بالحشائش.



شكل (٢) المدخل السطحى لصرف المياه السطحية فى أنبوبة الصرف

الصرف الفرنسي: (French Drain)

عندما تكون كمية المياه اللازم إزالتها من الحفر أو من المنخفضات صغيرة، فإنه يمكن إنشاء مدخل مسدود (Blind Inlet) فوق أنبوبة الصرف من الفخار أو القرميد (Tile Drain). المدخل المسدود يسمى كذلك المصرف الفرنسي. وهذه تنشأ بملأ خندق أنبوبة الصرف بمواد متدرجة مثل الزلط والرمل الخشن، أو بالقش أو بعيدان القمح الجافة أو أى مواد أخرى مشابهة كما فى الشكل (٣).

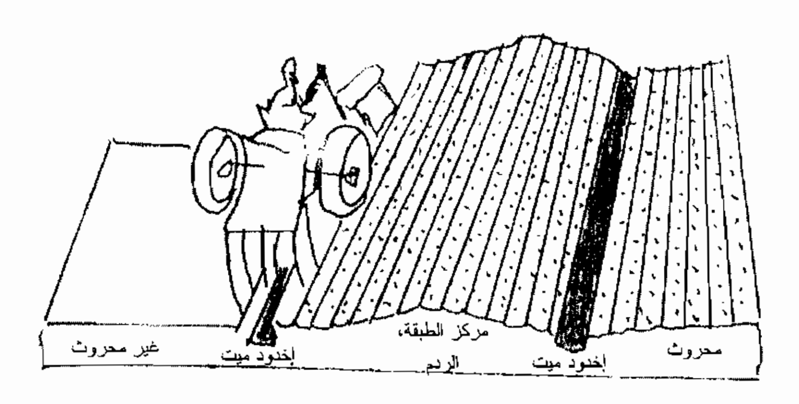


شكل (٣) المدخل المغلق لمدخل الصرف

مثل هذه المداخل ليست مؤثرة باستمرار. الفراغات فـــى مـــواد الـــردم للمـــدخل المسدود تصبح مملوءة مع مرور الوقت بما يقلل من كفاءتها. رغم أنها ليست مـــؤثرة بشكل مستمر، إلا أنها اقتصادية فى الإنشاء ولا تتداخل مع عمليات الزراعة.

فرشة التأسيس: (Bedding)

فرشة التأسيس هى طريقة الصرف السطحى التى تستخدم الأخاديد الميتة (Dead Furrows) كما فى الشكل (٤). المسافة بين اثنتين من الأخاديد المتجاورة تعرف بطبقة التأسيس (Bed)، حيث عمق هذه الطبقة يتوقف على خواص التربة وعمليات الحـــرث (Tillage). فى منطقة طبقة التأسيس يكون إتجاه الزراعة إما موازيا أو عمودياً علـــى الأخاديد الميتة. عمليات الحرث تكون موازية لطبقات التأسيس (Beds) تعيـــق حركـــة المياه إلى الأخاديد الميتة. الحرث يكون دائما موازيا للأخاديد الميتة. التأسيس يكـــون عملياً على الميول المستوية لأقل من ١٥%، حيث التربة تكـــون ذات نفاذيـــة بطيئـــة والصرف ليس اقتصادياً.



شكل (٤) مقطع فى طبقة أساس يوضح طريقة الإنشاء

٢- الصرف تحت السطحى أو الصرف المغطى:

Subsurface Drainage or Tile Drainage

النباتات تحتاج إلى الهواء وكذلك إلى الرطوبة فى منطقة جذورها وذلك حياتهـــا ونموها – الرى الزائد بمياه الرى الحقلى يكون حراً للتحرك نحو الصرف المغطـــى، فى حالة توفيره. هذا الماء يؤخر نمو النبات، لأنه يملأ مسام التربة ويعيـــق التهويـــة

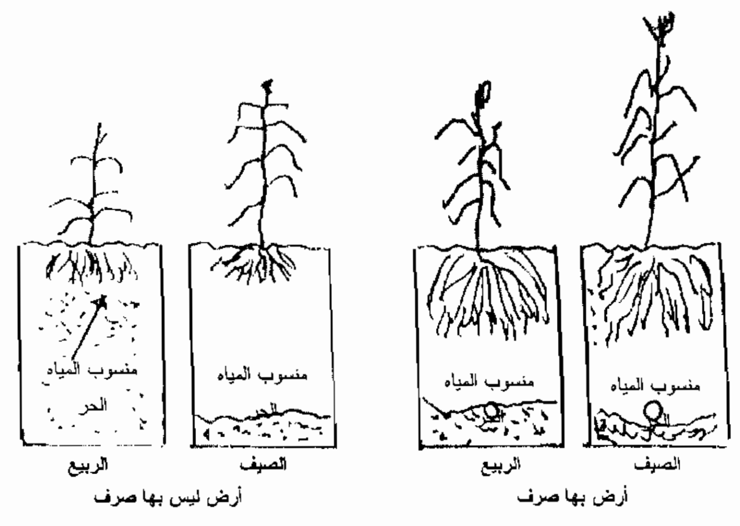
الجيدة. لذلك فإن الصرف السطحى يكون مطلوباً لإزالة الزائد من مياه الرى، وذلــك لمعظم الحاصلات المزروعة على الطبوغرافية المستوية أو المتموجة علـــى الجانــب الآخر فإن المصارف تحت السطح تكون مطلوبـــة للتربـــة ذات الـــصرف الـــداخلى الضعيف وحيث يكون خط المياه الجوفية مرتفعا. إذا لم يحدث وجـــود طبقـــة صـــماء أسفل أرض الحقل وأن خط المياه الجوفية يكون منخفضاً، فإن الصرف الـــداخلى قـــد يكون كافياً مع عدم الحاجة إلى الصرف المغطى (Tile Drains). لتحقيق أقصى إنتاجية لمعظم الحاصلات، لذلك تكون الحاجة أساسية لكل من الصرف الـــسطحى والـــصرف تحت السطح.

مميزات الصرف المغطى (تحت السطح): (Tile Drainage)

الصرف المغطى يساعد فى زيادة إنتاجية المحصول وذلـــك بـــصرف الميـــاه أو بخفض خط المياه بالطريقة الآتية:

- إزالة الحرة التدفق بالجاذبية والتى غير متاحة مباشرة للنباتات.
- زيادة حجم التربة التى يمكن للنبات أن يمتص منها الغذاء.
- زيادة تدوير الهواء.
- زيادة نشاط البكتريا فى التربة، بذا تحسين بناء التربة بما يجعل غذاء النبات متاحاً بشكل أسرع.
- خفض برى التربة. التربة ذات الصرف الجيد تكون ذات قدرة عالية على الإمساك بالمياه، بما ينتج عنه خفض للتدفق السطحى وبالتالى خفض البرى والتآكل للتربة.
- خفض وإزالة المواد السامة مثل الصوديوم والأملاح المذابة الأخرى، التـــى عنـــد وجودها بتركيزات عالية قد تؤخر نمو النبات.
- خفض الوقت والعمالة اللازمة للحرث والحصاد، حيث أن تلك المصارف لا تعيـــق العمليات الحقلية – فى حالة محصول مثل الحنطة، التأخير فى الإنبات قـــد يقلـــل الإنتاجية. كل تلك المشاكل تزال فى التربة ذات الصرف المغطى.

- الصرف بالقرميد (الصرف المغطى) يسمح بالجذور العميقة لتنمو وذلك يخفض خط المياه، خاصة خلال شهور الربيع كما فى الشكل (٥).



شكل (٥) تنمية الجذور لنمو المحصيل على الأرض التى بها صرف والأرض التى ليس بها صرف

ملاحظة: النبات ذو الجذور العميقة يمكنه استخلاص الماء من أعماق أكبر وبالتالى يمكنه تحمل الجفاف أفضل من ذلك ذو الجذور الضحلة. هذا بالإضافة إلى أن النباتات ذات الجذور العميقة تكون أكثر ضخامة ولذلك تكون قادرة على زيادة النتح والإرتشاح (Transpiration) وبالتالى زيادة الإنتاجية.

غلاف المرشحات: (Envelope Filters)

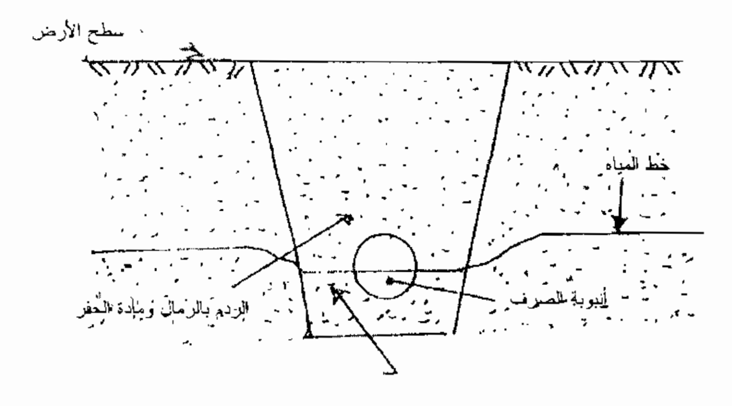
مصارف القرميد أو الفخار هى عادة أنبوبة صرف مصنوعة من مادة طفلية مسامية وتكون ذات مقطع مستدير. الأمطار قد تتراوح مابين ١٠سم إلى ٣٠سم. تلك الأنابيب يتم وضعها أسفل منسوب الأرض، مع التناكب مع بعضها (Butting) بواسطة وصلات مفتوحة.

الخنادق التى توضع فيها يتم ملئها بالرمل ومواد الحفر كما هو موضح فى الشكل (٦). كلما أمكن ذلك فإنه يجب عدم وضع تلك الأنابيب المثقبة أسفل طبقة أقل مسامية. لأنه فى هذه الحالة، قد تظل جافة حيث تكون الأرض فوق طبقة التربة غير المسامية مغمورة بالمياه، حيث المياه لاتكون قادرة على الوصول إلى الصرف – عند وضع

أنابيب الصرف فى تربة ذات مسامية قليلة، فإنها عموما تحاط بواسطة مرشحات زلطية مدرجة والتى تسمى غلاف المرشحات شكل (٧)- غلاف المرشح يؤدى وظيفتين:

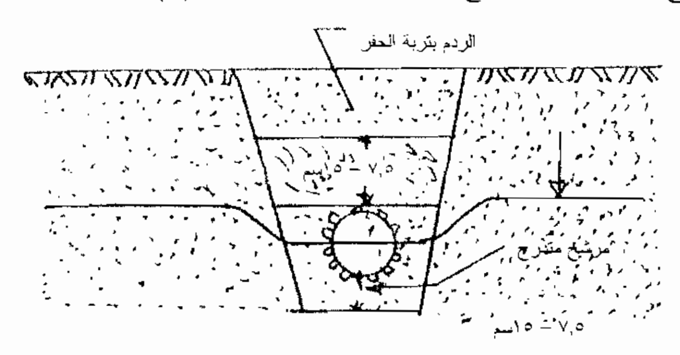
١- منع دخول مواد التربة فى أنبوبة الصرف.

٢- زيادة تأثير قطر أنبوبة الصرف وبالتالى زيادة معدل التدفق إلى داخل الإنبوبة.



شكل (٦) مقطع فى الصرف فى التربة المسامية (بدون أى مرشح)

المرشح يتكون من تدرجات مختلفة، مثل الزلط، الرمل الخشن، المادة الخشنة (الأكبر حجما) يتم وضعها فوق الأنبوبة الفخار مباشرة، ثم خفض الحجم بالتدريج نحو سطح التربة – أدنى سمك للمرشح هو ٧,٥سم. المرشح المدرج يمكن استبداله أحياناً بواسطة تدرج واحد، طبقاً للمتاح واعتبارات التكلفة شكل (٧).



شكل (٧) مقطع فى الصرف فى تربة أقل مسامية (بمرشح متدرج)

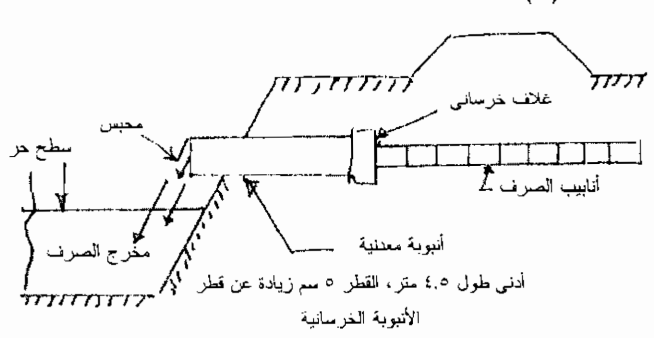
المخارج لأنابيب الصرف أو الصرف المقفل:

Outlets for Tile Drains or Closed Drains

المياه التى يتم صرفها بواسطة أنابيب الصرف من الفخار المثقب يتم صرفها فى مصارف أكبر، والتى تسمى المصارف السطحية العميقة. المياه من أنابيب الصرف المثقبة يمكن صرفها فى مخارج تلك المصارف اما بالجاذبية أو بالضخ، طبقاً للمتاح من المخارج بالجاذبية أو مخارج الضخ كما سيتم وصفه.

مخارج الجاذبية: *(Gravity Outlets)*

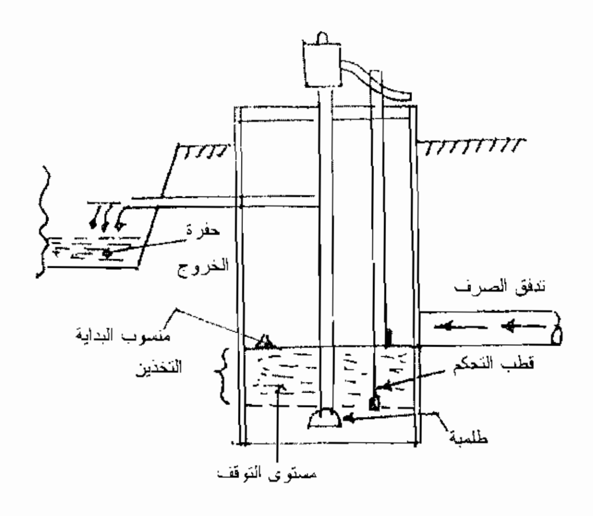
إذا كان مستوى طبقة التأسيس ومستوى الامداد الكلى لمخرج المصرف أدنى من مستوى قاع أنبوبة الصرف المثقبة، عندئذ فإن الماء يمكن صرفه بسهولة بفعل الجاذبية. يتم توفير أنبوبة معدنية مموجة ذات مغلاق متدلى (Flap Shutter) لمنع دخول القوارض وذلك عند نقطة المخرج. فى حالة احتمال خطورة التدفق العكسى لمياه الفيضان فى الأنبوبة من الصرف السطحى العميق، عندئذ يمكن توفير محبس لاحكام الفيضان شكل (٨).



شكل (٨) مخرج الجاذبية لأنابيب الصرف الخرسانية

مخارج الضخ: *(Pump Outlets)*

عندما يكون مستوى القاع لمخرج الصرف أعلا عن ذلك لصرف الأنبوبة المثقبة، فإنه يتم تجهيز مخرج المضخة كما فى الشكل (٩). وهو يتكون من مضخة التحكم الآلى ذات حوض تخزين صغير. مخارج المضخة مكلفة وتحتاج تقنية. لذلك، يتم دراسة وبحث تعميق مخرج المضخة، حيث يتم مقارنة تكاليف إقامة وصيانة مخرج المضخة مع ذلك لحفر وصيانة مخارج الصرف العميقة، وذلك قبل الاختبار النهائى.

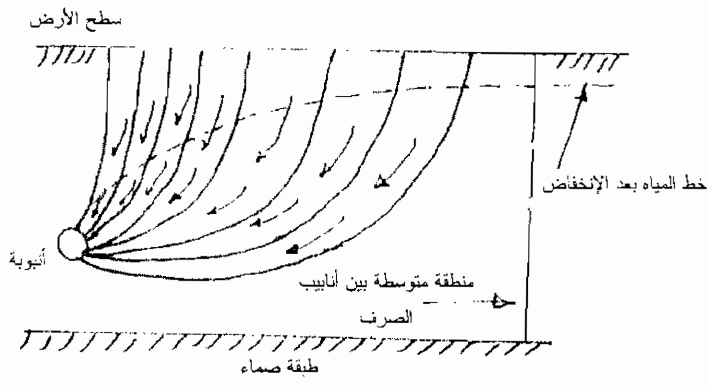


شكل (٩) مخرج المضخة لصرف أنبوبة الصرف

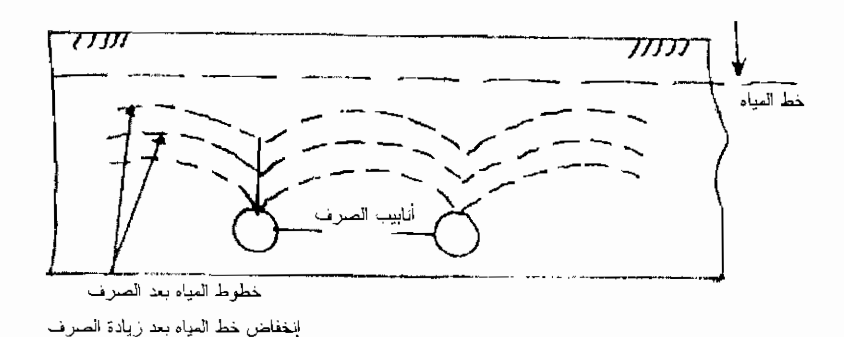
منحنى الانخفاض أو تحرك المياه فى أنبوبة الصرف:

(Drawdown Curve or Movement of Water Into Tile Drainage)

فى التربة المشبعة، تتدفق المياه إلى أنبوبة الصرف على طول المسار الموضح فى الشكل (١٠-أ). وحيث أن كمية المياه التى تتحرك بين أى خطين تدفق تكون واحدة، فإن الانخفاض سيكون أكبر قرب الأنبوبة عنه عند النقط البعيدة. بعد صرف التربة المشبعة ليوم مثلا، فإن خط المياه الناتج سيكون كما هو موضح فى الشكل (١٠-أ، ١٠-ب).



شكل (١٠-أ) منحنى الإنخفاض باستخدام أنبوبة صرف واحدة



شكل (١٠-ب) منحنى الإنخفاض باستخدام سلسلة من الأنابيب

مع سلسلة من أنابيب الصرف، فإن مستوى المياه تحت التربة مباشرة فوق الأنابيب، تكون أدنى من المنسوب المتوسط بينهم.

عند توفير المرشح حول أنبوبة الصرف لإحاطة الصرف بتربة مسامية زائدة، عندئذ فإن إجمال الإنخفاض سيكون أكبر. معدل إنخفاض خط المياه يتوقف أساسا على نفاذية التربة والفواصل بين أنابيب الصرف. فى هذه الحالة، الماء يتحرك أفقياً مسافة تزيد عن الرأسى قبل وصولها إلى الصرف، النفاذية الأفقية للتربة ذات أهمية كبيرة. نفاذية معظم أنواع التربة تقل مع العمق. هذا التغير فى النفاذية يؤثر على شكل خطوط التدفق ومعدل هبوط خط المياه.

عمق وفواصل أنابيب الصرف:

أنابيب الصرف المقفلة عموما تكون بفواصل بالمسافة التى تمكن من خفض خط المياه أسفل منطقة جذور النباتات بالعمق الكافى بالنسبة لمعظم النباتات يجب أن تكون النقطة العليا لخط المياه لاتقل عن ١ إلى ١,٥ متر أسفل منسوب الأرض، ذلك رغم أن هذه المسافة قد تتغير من ٠,٧ إلى ٢,٥ متر، طبقاً لنوع التربة ولنوع المحصول.

أنابيب الصرف يمكن أن توضع عند حوالى ٠,٣ متر أسفل أعلا منسوب مطلوب لخط المياه.

معامل الصرف: (Drainage Coefficient)

المعدل الذى يتم به إزالة المياه بالصرف يسمى معامل الصرف. ويقدر بعمق الماء بالسنتيمتر أو المتر المطلوب إزالته فى ٢٤ ساعة من مساحة الصرف. يتوقف

معامل الصرف إلى حد كبير على سقوط الأمطار ولكنه يتغير مع نوع التربة، ونـــوع المحصول، درجة الصرف السطحى...الخ. قيمة معامل الصرف الموصى بهـــا هـــى ١% من متوسط سقوط المطر السنوى المطلوب إزالته فى اليوم.

فى المساحة المروية، التصرف خلال أنابيب الصرف قد يتغير مـــابين ١٠ إلـــى ٥٠% من إجمالى المياه المستخدمة. حيث أن المساحة الكلية ليست مروية فـــى نفـــس الوقت، فإن مساحة الصرف المطلوب استخدامها لحساب تدفق أنبوبة الصرف ليـــست واحدة عند كل المساحة التى تحتوى على أنابيب الصرف، ولكن تقدر مـــن المـــساحة المروية. القيمة المناسبة لمعامل الصرف يمكن أن تؤخذ تقدر طبقاً للظروف المحليـــة. القيم من ١ إلى ٢,٥سم/اليوم للتربة الطبيعية المعدنية و ١,٢٥ إلى ١٠سم/اليوم للتربـــة العضوية لمختلف أنواع الحاصلات، وهذه القيم إقترحت للمناطق الرطبة.

مثال:

نظام الصرف بالأنابيب الفخار، لصرف ١٢ هكتار، التدفق عند طاقة تـــصميمية لمدة يومين، بعد العاصفة الممطرة. إذا كان النظـــام مـــصمم باســـتخدام معامـــل الصرف ١,٢٥سم، كم من الأمتار المكعبة من الماء سيتم إزالتهـــا خـــلال تلـــك الفترة.

الحل:

معامل الصرف بمقدار ١,٢٥سم يعنى أنه سيتم إزالة مياه بعمق ١,٢٥ســـم مـــن مساحة الصرف بالصرف خلال ٢٤ ساعة.

حجم المياه الداخلة للصرف فى اليوم

$$= \frac{١,٢٥}{١٠٠} \times (١٢ \times ١٠^{٤})$$ متر مكعب اليوم

= ١٥٠٠ متر مكعب فى اليوم.

حجم المياه الذى يمر خلال الصرف خلال يومين من التدفق

= ١٥٠٠ × ٢ = ٣٠٠٠ متر مكعب.

مساحة الصرف: (Drainage Area)

المساحة التى يتم صرفها بنظام أنابيب الصرف تسمى مساحة الصرف. أحيانـــاً، يتم إزالة المياه السطحية كذلك بواسطة أنابيب الصرف. فى هذه الحالة، فـــإن مـــساحة غمر المياه ستكون هى مساحة الصرف حتى وإن كانت ليست مجهزة كليـــة بأنابيـــب الصرف.

حجم أنابيب الصرف:

أنابيب الصرف يتم تصميمها طبقاً لمعادلة ما نتج لحمل صرف معين يتم تعيينـــه بواسطة معامل الصرف ومساحة الصرف. يتم وضع الأنابيب على ميل طولى معـــين يتراوح من ٠,٠٥ إلى ٣%. أدنى تدرج مناسب هو ٠,٢%. عند عـــدم تـــوفر الميـــل المناسب فإنه يمكن خفض التدرج فى الميل إلى ٠,١%. طبقاً للميـــل المتـــاح لـــسطح التربة وعمق المخرج، فإنه يمكن إعطاء قيمة مناسبة. للميل الطولى للأنابيب. قطرها يمكن تقديرة بسهولة من معادلة ما ينتج. أدنى قطر للأنابيب يوصى به هو مـــن ١٠-١٥سم. أدنى قطر للأنابيب المثقبة يمكن خفضه وفى هذه الحالة تكون عدم الإســـتقامة للوصلات أو التشققات ليست مشكله.

مثال:

عين القطر عند المخرج لنظام صرف ٦ هكتار، إذا كان معامل الصرف هو ١سم وتدرج الميـــل للأنابيـــب هـــو ٠,٣%. إفتـــرض معامـــل التجعـــد (Rugosity Coefficient) للمادة هو ٠,٠١١.

الحل:

معامل الصرف ١سم يعنى أن ١سم من الماء من مساحة ٦ هكتار تدخل الأنابيب كل يوم.

حجم الماء المار فى الأنابيب فى اليوم = $(\frac{١}{١٠٠} \times ٦ \times ١٠^{٤})$ متر مكعب

= ٦٠٠ متر مكعب

حجم الماء المار فى الأنابيب فى الثانية = $\frac{٦٠٠}{٣٦٠٠ \times ٢٤}$ = $\frac{١}{١٤٤}$ م^٣^/ث

∴ Q = $\frac{١}{١٤٤}$ متر مكعب/ثانية

الآن:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} - S^{\frac{1}{2}}$$

بالنسبة للأنبوبة المستديرة ذات قطر D، عندئذ

$$A = \frac{\Pi D^2}{4}, \ P = \Pi D, \ R = \frac{D}{4}$$

أو

$$\frac{1}{144} = \frac{1}{0.011} \times \left(\frac{\Pi D^2}{4}\right) . \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \left(\frac{0.3}{100}\right)^{\frac{1}{2}}$$

أو

$$\frac{1}{144} \times \frac{0.011 \times 4}{\Pi} = \frac{D^2 . D^{2/3}}{(4)^{2/3}} \times \frac{1}{\sqrt{333.3}}$$

أو

$$\frac{0.011 \times 4 \times 2.52 \times 18.26}{144 \times \Pi} = D^{8/3}$$

$$D = (0.00447)^{3/8}$$

D = ٠,١٣٢ متر

= ١٣,٢ سم

مواد الأنابيب:

الأنابيب المستخدمة فى الصرف تصنع عادة من الطفلة أو من الخرسانة، بأطوال قصيرة. أحياناً، قد تصنع من الصلب المغطى بالبنتيومين من الداخل ومن الخارج.

المواسير البلاستك المموجة والمثقبة أصبحت مفضلة بسبب خفة وزنها وسهولة تداولها.

مقارنة بين الأنابيب من الطفلة ومن الخرسانة:

الأنابيب الخرسانية ذات النوعية الجيدة شديدة المقاومة للتجمد وإذابة الجليد ولكن يمكن أن تتلف فى التربة القلوية أو الحامضية. المواد من الطفلة لاتتأثر بالتربة الحامضية أو القلوية عند التعرض للحالات المستمرة من التجمد وانصهار الجليد وجد أن الأنابيب الخرسانية آمنة عن الأنابيب من الطفلة، ذلك رغم أن الأنابيب من الطفلة تقاوم التلف بفعل التجمد. كلا نوعى الأنابيب يجب أن يكون له القوة الكافية لتحمل الأحمال الاستاتيكية والأحمال الصدمية التى تنقل إليها من التربة التى فوقها.

الأنابيب الجيدة من الطفلة أو من الخرسانة يجب أن يكون لها الخواص الآتية:

١- مقاومة العوامل الجوية والتلف فى التربة.

٢- الامتصاص المنخفض للماء أى الكثافة العالية.

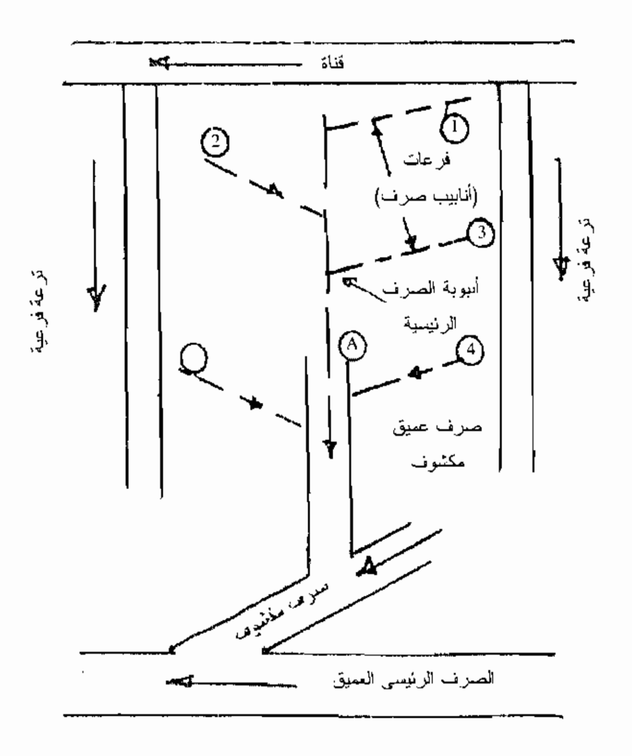
٣- التجانس فى الشكل وسمك الجدار...الخ.

٤- عدم وجود عيوب مثل التشققات...الخ.

٥- القوة الكافية لمقاومة الأحمال الاستاتيكية والأحمال الصدمية المصممة عليها.

وضع أنابيب الصرف: (Layout of Tile Drains)

أنابيب الصرف قد تكون مصفوفة بطرق مختلفة، طبقاً لطبوغرافية الأرض. عموماً التفرعات من أنابيب الصرف (Laterals) تمر خلال معظم مساحة الصرف وتتصل بخط الصرف الرئيسى (Mains) والذى بالتالى يصرف خلال المخارج فى المصارف العميقة المفتوحة. شبكة بسيطة من نظام الصرف موضحة فى الشكل (١١).

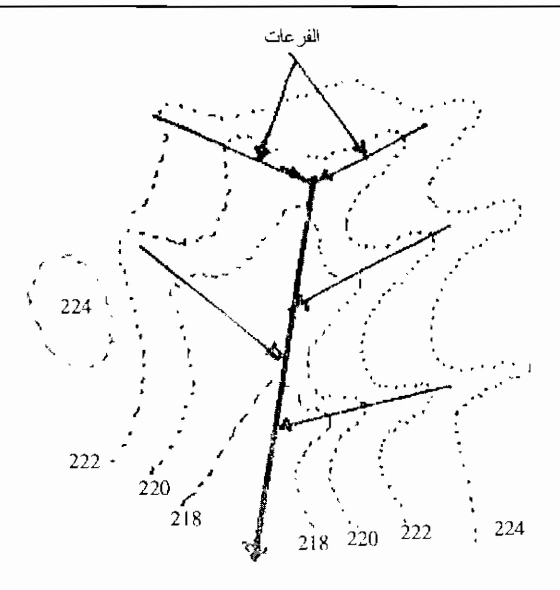


شكل (١١) المخطط العام لشبكة أنابيب الصرف

بدائل مختلفة ممكنة لأوضاع نظم أنابيب الصرف موضحة فـــى الــشكل (١٢)، حيث سيتم مناقشتها.

١ - النظام الطبيعى (Natural System)

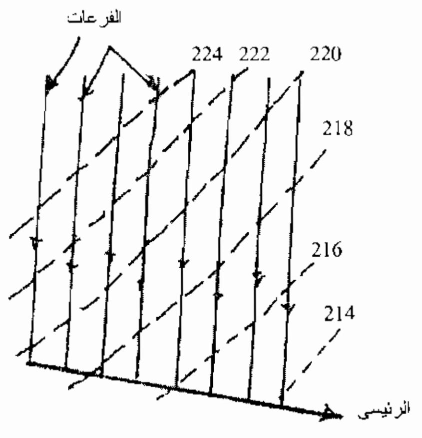
النظام الطبيعى يستخدم عموما فى الأرض ذات الطبوغرافية المتدحرجـــة حيــث يكون المطلوب صرف مساحات معزولة. التفرعات الرئيسية والفرعيات المتصلة يــتم توفيرهم فى مسلك طبيعى كما فى الشكل (١٢-أ). هذا النظام مناســب عنـــدما لايــتم الصرف بكل الأرض. النظام مرن إلى حد ما ويسمح بالصرف المحلى حيــث يكــون مطلوبا.



شكل (١٢-أ) النظام الطبيعى

٢ - *نظام المصبعة (الشبكة) الحديدية (Grid Iron System)*

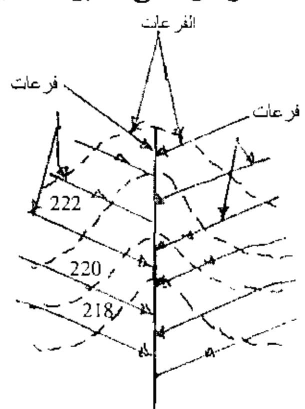
نظام الصرف المكون من فرعات رئيسية وفرعية موضح فى الـشكل (١٢-ب). فى هذا النظام، يتم توفير الفرعيات على جانب واحد من الفرع الرئيسى (Mains) كما هو موضح. هذا النظام يتم تبنيه عندما تكون الأرض مستوية عمليا، أو حيـث يكـون ميل الأرض بعيدا عن الفرع الرئيسى الثانوى على جانب واحد، وعندما تكـون كـل المساحة يلزم صرفها.



شكل (١٢-ب) نظم الشبكة الحديدية

٣- نظام عظام السمكة *(Herring Bone System)*

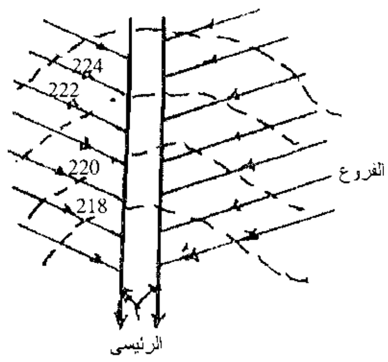
فى إطار هذا الوضع، تتصل الفرعات مع الفرع الرئيسى أو الفرع الرئيسى المساعد على كل جانب بالتبادل كما فى الشكل (١٢-جـ). يتم استخدام هذا الوضع عندما يكون الفرع الرئيسى موجودة فى منخفض الأرض على طول الفرع الرئيسى يكون ذات صرف مضاعف، ولكن لكونه فى منخفض، فإنه من المحتمل أن يتطلب زيادة فى الصرف عنه فى حالة الأرض على الميول المجاورة.



شكل (١٢-جـ) نظام عظام السمكة

٤- النظام ذو الفرع الرئيسى المزدوجة *(Double Main)*

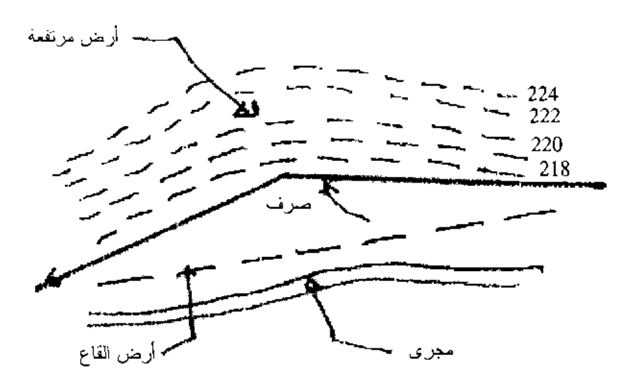
هذا النظام له اثنين من الفروع الرئيسية مع وجود فروع منفصلة لكل منهما كما فى الشكل (١٢-د). يستخدم هذا الوضع عندما يكون قاع المنخفض متسعا. هذا النظام يقلل من طول الفروع ويلغى الكسر فى ميل الفرع عند طرف المنخفض.



شكل (١٢- د) نظام الخط الرئيسى للصرف المزدوج

٥- نظام أنابيب الصرف المتقاطعة:

فى هذا النظام، لاتوجد فروع صرف. يتم استخدام الفروع الرئيسية عند طرف نهاية الميل كما هو موضح فى الشكل (١٢-هـ). هذا النظام مفضل عندما يكون المصدر الرئيسى للصرف من أرض مرتفعة Hilly Land.



شكل (١٢- هـ) نظام أنابيب الصرف المعترضه

عموما، كل الفروع الرئيسية والفرعية يجب أن تكون بعيدة عن الأشجار، حيث الجذور لتلك الأشجار يمكنها بسهولة دخول الوصلات المفتوحة للمواسير حيث عندئذ يحدث الإنسداد للنظام.

الملحق (ب)

نوعية المياه المطلوبة للرى

كما فى حالة أن كل المياه ليست مناسبة للإستخدام الآدمى، فإن كل المياه ليست مناسبة لحياة النبات. المياه المحتوية على الملوثات، التى تكون ضارة لنمو النبات، ليست مناسبة للرى.

نوعية مياه الرى المناسبة تتأثر بمكونات التربة إلى حد كبير التى سيتم ريها بالماء. نوع معين من المياه قد يكون ضاراً فى حالة استخدامه فى نوع معين من التربة، ولكن نفس نوعية المياه قد تكون مقبولة أو حتى مفيدة فى رى نوع آخر من التربة. مختلف أنواع الملوثات التى يمكن أن تجعل المياه غير مناسبة للرى يمكن تقسيمها كالآتى:

١- تركيز الرواسب فى الماء.

٢- التركيز الكلى لأملاح الصوديوم فى الماء.

٣- نسبة آيونات الصوديوم إلى الكاتأيونات الآخرى.

٤- تركيز العناصر السامة الموجودة فى الماء.

٥- تركيز البيكربونات بالنسبة لتركيز الكالسيوم زائد المغنسيوم.

٦- التلوث البكتيرى.

تأثير تلك الملوثات كالآتى:

١ - الراسب: (Sediment)

تأثير الراسب الموجود فى مياه الرى يعتمد على نوع الأرض المروية. عند ترسيب الرواسب الدقيقة من الماء على التربة الرملية، فإن الخصوبة تتحسن. ولكن،

إذا كانت الرواسب ناتجة عن نحت وبرى مساحات من الأرض، فإنها يمكن أن تقلل الخصوبة أو تقلل نفاذية التربة. المياه الحاملة للرواسب تخلق مشاكل فى قنوات الرى، حيث ترسب والذى يترتب عليه زيادة تكاليف الصيانة. عموما، المياه الجوفية أو المياه السطحية من الخزانات ...الخ. ليس بها رواسب كافية لإحداث مشاكل حادة فى الرى.

٢- *التركيز الكلى للأملاح المذابة:*

الأملاح المذابة فى الماء للصوديوم ($Na_2\ Co_3$)، ($Na_2\ SO_4$)، (Nacl) و ($Na_2\ NO_4$) و للمغنسيوم مثل ($Mg\ SO_4$)، ($Mg\ d_2$) وللبوتاسيوم (Kcl)، $K\ NO_3$، للكالسيوم مثل $Ca\ l_2$ ...الخ. عند وجود تلك الاملاح فى مياه الرى (أو فى التربة المروية) قد تسبب مضار لنمو النباتات والحاصلات. عند وجود مثل هذه الأملاح بكميات وفيرة، فإنها تقلل النشاط الأوسموزى فى النباتات لمنع التهوية المطلوبة وإعاقة نمو النبات. الضرر الذى يحدث لنمو النبات يتوقف على تركيز الأملاح الموجودة فى محلول التربة أو مستخلص التربة (أى عينة الماء المأخوذة من التربة المشبعة)، والتى تحتوى على أملاح تزيد عن تركيز الأملاح الموجودة فى مياه الرى. أنه فى حالة الاستخدام المستمر للمياه المالحة فى الرى، فإنها تترك خلفها كمية من الأملاح فى التربة المروية، والتى قد تؤدى معا إلى زيادة تركيز الأملاح فى الحاصلات فيما بعد، حتى لو كان تركيز الأملاح فى مياه الرى ليس عالياً. لذلك، فإن مياه الرى يجب أن يكون محتواها من الأملاح أقل كثيراً عن القيم التى يمكن تحملها لنمو النبات. على أساس مثل هذه الحالات فإن التركيز الحرج للملح فى مياه الرى يمكن تحديده طبقاً لحالة الملح فى التربة، ونوع الحاصلات. عموماً، الأملاح التى تزيد عن ٧٠٠ ملجرام/لتر تعتبر ضارة لبعض الحاصلات والأملاح التى تزيد عن ٢٠٠٠ ملجرام/ لتر تكون ضارة لكل الحاصلات.

تركيز الاملاح فى مياه الرى أو فى مستخلص التربة يتم قياسه بتعيين التوصيل الكهربى للمياه المالحة، بمساعدة جهاز قياس التوصيل الكهربى. يقدر التوصيل الكهربى بالميكروموهوز/سم أو بالمليموهوز/سم (Micromhos/cm or Millimohos/cm). وذلك عند درجة حرارة معينة، وهى مرتبطة تقريباً بالمحتوى من الأملاح المذابة بالملجرام/لتر طبقاً للمعادلة

الأملاح المذابة بالملجرام/لتر = التوصيل الكهربى بالميكروموهو/سم × ٠,٦٥

عندما يكون التوصيل الكهربى لمياه الرى حتى ٢٥٠ ميكروموهو/سم عند ٢٥°م فإنها تصنف كمياه ذات توصيل كهربى منخفض ويرمز لها (C1).

عندما تكون القيمة ما بين ٢٥٠ إلى ٧٥٠ فإنها تكون مياه ذات توصيل متوسط (C2).

عندما تكون القيمة ما بين ٧٥٠ إلى ٢٢٥٠ فإن الماء يكون عالى التوصيل (C3).

عندما تكون القيمة أعلا من ٢٢٥٠ فإنها تصنف بالمياه ذات التوصيل العالى جداً (C4).

مناسبة تلك الأنواع الأربعة من المياه تناقش فى الجدول التالى:

م	نوع المياه	الاستخدام فى الرى
١	المياه ذات الملوحة المنخفضة (C1) التوصيل ما بين ١٠٠ إلى ١٥٠ ميكروموهوز/سم عند ٢٥°م	تستخدم لرى كل الحاصلات تقريباً. قد توجد القليل جداً من القلوية والتى تتطلب الغسيل بالماء لإزالتها (Leaching) ولكنها مناسبة فى ظروف الرى العادية عدا فى حالة التربة ذات النفاذية المنخفضة جداً.
٢	المياه ذات الملوحة المتوسطة (C2) التوصيل ما بين ٢٥٠ إلى ٧٥٠ ميكروموهوز/سم عند ٢٥°م	يمكن استخدامها فى حالة عمل كمية متوسطة من غسيل الأملاح. يمكن رى النباتات ذات التحمل الطبيعى للأملاح بدون التحكم فى الملوحة وخفضها.
٣	المياه عالية الملوحة (C3) حيث التوصيل ما بين ٧٥٠ إلى ٢٢٥٠ ميكروموهوز/سم عند ٢٥°م	لايمكن استخدامها فى التربة ذات الصرف المحدود. يتم إتخاذ الإجراءات للتحكم فى الملوحة حيث يمكن فقط زراعة النباتات التى تتحمل الملوحة العالية.
٤	المياه ذات الملوحة العالية جداً (C4) حيث التوصيل من ٢٢٥٠ وأعلا ميكروموهوز/سم عند ٢٥°م	عموماً غير مناسب للزراعة

لاحظ أن C1، C2، C3، تمثل الزيادة فى الخطورة من تركيز الأملاح.

نسبة أيون الصوديوم إلى الكاتأيونات الأخرى:

معظم أنواع التربة يحتوى على أيونات الكالسيوم والمغنسيوم وكميات صغيرة من أيونات الصوديوم. نسبة أيونات الصوديوم هى عموماً أقل من ٥% لكل الكاتأيونات القابلة للتبادل. إذا زادت هذه النسبة إلى حوالى ١٠% أو أكثر فإن الشكل الحبيبى للتربة ينعدم، وتصبح التربة أقل نفاذية ويصعب حرثها. فهى تبدأ فى التقشير عندما تكون جافة، وعندما يزداد رقمها الهيدروجينى (pH) نحو ذلك للتربة القلوية. لذلك فإن التربة ذات المحتوى العالى من الصوديوم تكون لدنه، لصقة عندما تكون رطبة ومعرضة لتكوين الكتل الطينية (Clods)، وقد تتقشر عند الجفاف.

لذلك فإن نسبة أيون الصوديوم فى مياه الرى يجب أن يتم التحكم فيها، وهى عموما تقاس بمعامل يسمى نسبة امتصاص الصوديوم (Sodium Absorbtion Ratio) (SAR)، والتى تمثل خطورة محتوى الماء على الصوديوم.

تعرف نسبة امتصاص الصوديوم (SAR) بالآتى:

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{(Ca^{++} + Mg^{++})}{2}}}$$

حيث تركيز الأيونات يقدر بالمللى مكافئ للتر (meq/L). يتم الحصول على المللى المكافئ بقسمة تركيز الملح بالملجرام فى اللتر على وزنه المكافئ أى الوزن الذرى + التكافؤ.

عندما تقع قيمة (SAR) بين صفر إلى ١٠، فهى تسمى الماء المنخفض الصوديوم (S1)، وتسمى الماء متوسط الصوديوم (S2) ما بين ١٨ إلى ٢٦، وتسمى الماء عالى الصوديوم (S3) عندما تزيد نسبة امتصاص الصوديوم عن ٢٦ (S4). مناسبة تلك الأنواع الأربعة لمياه الرى سيتم تناوله فى الجدول التالى. بإضافة الجبس (Caso4) إلى الماء أو إلى التربة فإن قيمة نسبة امتصاص الصوديوم (SAR) منخفض.

مناسبة أنواع المياه المحتوية على الصوديوم فى الرى

م	نوع المياه	الاستخدام فى الرى
١	المياه ذات المحتوى المنخفض من الصوديوم (S1) نسبة الامتصاص للصوديوم ما بين صفر إلى ١٠	يمكن استخدامها لرى كل أنواع التربة ولمعظم الحاصلات باستثناء تلك ذات الحساسية العالية للصوديوم مثل أشجار الفاكهة ذات النواة (Stone Fruit) كالخوخ والتمر والمشمش...الخ.
٢	المياه ذات المحتوى المتوسط من الصوديوم (S2) حيث نسبة امتصاص الصوديوم من ١٠ إلى ١٨	يشكل خطورة على التربة ذات الحبيبات الدقيقة والتى تحتاج إلى إضافة الجبس..الخ ولكن يمكن استخدامها على التربة ذات الحبيبات الخشنة أو العضوية ذات النفاذية الجيدة.
٣	المياه ذات المحتوى العالى من الصوديوم (S3) وحيث نسبة امتصاص الصوديوم ما بين ١٨ إلى ٢٦	قد تكون ضارة على كل أنواع التربة غالباً، وتتطلب الصرف الجيد، وإضافة الجبس والغسيل لإزالة الاملاح...الخ وذلك لتوفير الرى الجيد.
٤	المياه ذات المحتوى العالى جداً من الصوديوم (S4) نسبة إمتصاص الصوديوم أعلا من ٢٦	عموما هذه المياه غير مناسبة للرى.

ملاحظة: S1، S2، S3، تمثل الزيادة المضطردة فى الخطورة بسبب الصوديوم القابل للتبادل.

تركيز العناصر ذات السمية الشديدة:

عدد كبير من العناصر قد يكون ساما للنبات. الآثار القليلة من عنصر البورون يعتبر أساسى لنمو النبات، ولكن التركيزات أعلى من ٠,٣ جزء فى المليون تكون خطيرة على النقل (Nuts) أى الجوز واللوز، وكذلك على الفواكه الحامضية (الليمون والبرتقال)، ولكن القطن ونبات الحبوب كالحنطة والشعير ومحاصيل الخضروات

يمكنها تحمل البورون، بينما التمور، البنجر، النبات من الفصيلة الزنبقية (Asparagus) تتحمل إلى حد ما. حتى فى حالة المحاصيل التى تتحمل فإن تركيز البورون يجب أن لا يزيد عن ٤ جزء فى المليون، البورون يوجد عموماً فى مختلف أنواع الصابون. مياه الصرف التى تحتوى على الصابون...الخ، يجب لذلك أن تستخدم بحرص شديد فى الرى.

السيلينيوم حتى فى التركيزات المنخفضة، يعتبر سام ويجب تجنبه.

تركيز البيكربونات بالنسبة إلى تركيز الكالسيوم والمغنسيوم:

التركيز العالى لأيون البيكربونات قد ينتج عنه ترسيب بيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم من محلول التربة، بما يزيد من المقدار النسبى لأيونات الصوديوم والذى يسبب مخاطر الصوديوم.

التلوث البكتيرى:

التلوث البكتيرى لمياه الرى ليس من المشاكل الحادة، إلا فى حالة رى المحاصيل التى تؤكل نيئة بالمياه الملوثة. المحاصيل مثل الأقطان ...الخ التى يتم تصنيعها بعد الحصاد يمكن استخدام مياه الصرف.

مثال:

ما هو تقسيم مياه الرى ذات الخواص التالية:

- تركيز Na، Ca، Mg هو ٢٢، ٣ و١,٥ملى مكافئ على اللتر على التوالى والتوصيل الكهربى هو ٢٠٠ ميكروموهوز/سم عند ٢٥°م.
- ما هى المشكلة التى يمكن أن تنشأ باستخدام هذا الماء على التربة ذات الحبيبات الدقيقة؟
- ما هو العلاج المقترح للتغلب على تلك المشكلة؟

الحل:

أ-

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{(Ca^{++} + Mg^{++})}{2}}}$$

$$= \frac{22}{\sqrt{\frac{3+1.5}{2}}} = \frac{22}{\sqrt{2.25}}$$

$$= \frac{22}{1.5} = 14.67$$

إذا كانت نسبة امتصاص الصوديوم (SAR) ما بين ١٠ إلى ١٨ فإن المياه تصنف كمياه متوسطة المحتوى من الصوديوم، وتمثل بالرمز (S2) كما في الجدول السابق (٢).

التوصيل الكهربى هو ٢٠٠ ميكروموهوز/سم عند ٢٥°م. طبقاً للجدول (١) فإن الماء يسمى ذو التوصيل المنخفض (C1)، إذا كانت قيمة التوصيل الكهربى ما بين ١٠٠ إلى ٢٥٠ ميكروموهوز/سم عند ٢٥°م فإنه عندئذ يكون ماء من الدرجة (C1). لذلك، فإن هذا الماء يصنف (S2,C1) ماء.

ب- فى التربة ذات الحبيبات الناعمة يمكن للمياه متوسطة الصوديوم (S2) أن تخلق المشاكل الآتية:

- أن تصبح التربة أقل نفاذية.
- تبدأ فى التقشير عند الجفاف.
- تصبح لدنه ولاصقة عند البلل.
- يزداد الرقم الهيدروجينى نحو التربة القلوية.

جـ- إضافة الجبس ($Ca\ SO_4$) إما للتربة أو للماء يمكن من التغلب على مشكلة الصوديوم. الغسيل للتربة بالماء لإذابة الأملاح قد يؤثر على إزالة المحتوى من الملح والذى قد يزداد بعد ذلك بإضافة الجبس.

References المراجع

1- Raw – K. N. C. J. George and K. S Ramasastri "Potential Evapotranspiration. India 1971 pp A2-1-14.

2- Chow V. T. "Ed Handbook of applied Hydrology" McGraw Hill. New York 1984.

3- Alexander Binnie "The variation in Rain fall" Ins. Civil Engrs (London) Vol 109.

4- Weinser, C. J. "Hydrometeorology" Chapman and Hall Limited London U.K 1990.

5- Chow V. T. "Open Channel Hydraulics" McGraw Hill, New York 1989.

6- Davis C. V. and T. E. Sorensen "Handbook of Applied Hydraulic" McGraw Hill Book Co. New York 1989.

7- Rao. K. L. "Indian's Water Wealth" Orient Longman New Delhi 1990.

8- Greager W. P., I. P. Justin and Julian Hinds "Engineering of Dams" Vol I, Willey 1996.

9- Barrows, H. K. "Water Power Engineering", McGraw Hill Book Co. Inc. New York 2001.

10- Sowers. G. G. and H. L. Sally, "Earth and Rockfill Dams". Asia Publishing Co. New Delhi 1992.